Kaltlufteinbrüche
im westlichen Mittelmeerraum

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

genehmigt von der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin

Von

Gunther Lincke

aus Potsdam.

Tag der mündlichen Prüfung: 28. Juni 1939.

Tag der Promotion: Tag der Promotion: 4. November 1939.

1939

Druckerei und Verlag wissenschaftlicher Werke Konrad Triltsch
Würzburg-Aumühle

N 77

Referenten: Prof. Dr. K. Knoch
Prof. Dr. A. Defant.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

MEINEN ELTERN.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550804_0152

Inhaltsverzeichnis.

Erster Hauptteil:

Allgemeines und frühere Untersuchungen. Seite

1. Einleitende Betrachtungen 1
2. Die geographischen Gegebenheiten 4
3. Das Material 6
4. Die Verarbeitung des Materials zur Luftmassenanalyse.. 8

Zweiter Hauptteil:

Die Heranführung der Kaltluftmassen an den Mittelmeerraum.

1. Monatliche Verteilung der Kaltluftmassen 12
2. Der Anteil der verschiedenen Luftmassen an den Kälteeinbrüchen 14
3. Über die Andauer der Kaltlufteinbrüche 23
4. Der Zusammenhang zwischen Kaltlufteinströmen und den für Italien maßgeblichen Isobarentypen 25

Dritter Hauptteil:

Das Verhalten der Kaltluftmassen im westlichen Mittelmeer

1. Die Hauptstrombahnen der Kaltluft im westlichen Mittelmeer 29
2. Der Zusammenhang zwischen Hauptstrombahnen der Kaltluft, Zyklonenbahnen und einer stationären Diskontinuität im westlichen Mittelmeer 32
3. Die Kaltlufteinbrüche des Jahres 1932 über dem westlichen Mittelmeer 37
4. Der Zusammenhang der Kaltlufteinbrüche westlich und östlich der Alpen mit Mistral und Bora sowie den plötzlichen Adriastörungen 40

Vierter Hauptteil:

Einige charakteristische Beispiele von Kaltlufteinbrüchen in den westlichen Mittelmeerraum.

1. Die Auswahl der Beispiele 45
2. Beispiele für Kaltlufteinbrüche vorwiegend aus dem Raum westlich der Alpen 47
3. Beispiele für Kaltlufteinbrüche vorwiegend aus dem Raum östlich der Alpen 59

Fünfter Hauptteil:

Einige Folgerungen aus den behandelten Beispielen.

1. Allgemeines 64
2. Die physikalischen Folgerungen 65

a) Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kaltluft 65
b) Die Ausbreitungsform der Kaltluftmassen 68
c) Die Erwärmung der Kaltluftmassen auf dem Meere.. 70
3. Die meteorologischen Erscheinungen in Zusammenhang mit den Kaltlufteinbrüchen .....
a) Die Tiefdruckgebiete und die Kaltlufteinbrüche 72
b) Die Kaltlufteinbrüche in Zusammenhang mit den Wettererscheinungen 74
4. Die aerologischen Erscheinungen im Zusammenhang mit den Kaltlufteinbrüchen 80

Anhang:

Die zwölf für Italien maßgeblichen Typen der Druckverteilung (nach Fabris und Eredia) 81
Zusammenfassung 84
Literaturverzeichnis 87
Abbildungen 1. bis 25. 91
Kalender der Hauptstrombahnen der Kaltluft im westlichen Mittelmeer für das Jahr 1932 105

I. Hauptteil.

Allgemeines und frühere Untersuchungen.

1. Kapitel.

Einleitende Betrachtungen.

Kaltluftvorstöße sind in ihrem Fortschreiten nach Süden verhältnismäßig selten bis in niedrigere Breiten verfolgt worden. Der Grund dafür liegt nicht zum wenigsten in orographischen Verhältnissen, auf die gleich noch weiter eingegangen werden soll. Zum anderen aber auch darin, daß es naturgemäß immer schwerer wird, Kaltlufteinbrüche nachzuweisen, je weiter sie über erwärmte Oberflächenschichten der Erde nach Süden vorgestoßen sind.

Immerhin liegen aus den Anfängen der Luftmassenforschung Untersuchungen von H. von Ficker vor, der Kaltluftmassen kontinentalarktischer Herkunft über ganz Rußland bis an den Kaspisee verfolgen konnte (Lit. 32). Das Gegenstück zu diesen Untersuchungen im Osten Europas lieferte der gleiche Autor durch seine Untersuchungen der Kaltluftvorstöße nach Teneriffa (Lit. 34), in denen ganz deutlich die ungeheure Schwierigkeit der Verfolgung solcher Luftmassenbewegungen über warmen Meeresgegenden offenbar wird, denn sie konnten oft nur in der Höhe, an den hochgelegenen Stationen Teneriffas nachgewiesen werden, da sie in der Nähe des Meeresniveaus maskiert waren. Auf die Fickersche Arbeit über den Transport kalter Luftmassen über die Zentralalpen (Lit. 31) wird später eingegangen werden.

Auch in anderen Erdteilen sind Kaltluftvorstöße untersucht worden. Es sei neben Ekharts (Lit. 18) Arbeit auf die Untersuchung von Li (Lit. 58) hingewiesen, der in Ostasien derartige Vorgänge beobachtete. Hier wird auch die Literatur, die über die Nord-Süd-Luftmassenbewegungen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika vorhanden ist, angeführt (Lit. 37, 84, 59, s. a. Lit. 40). Gerade in letzterem Gebiet können Kaltluftvorstöße aus dem Norden sich lange

wirksam erhalten und ähnlich wie in dem Falle Ostrußlands bis in recht niedrige Breiten verfolgt werden, weil die orographischen Verhältnisse längs des Mississippi ihr Vordringen begünstigen. In eben diesen geographischen Bedingungen ist es begründet, wenn in West- und Mitteleuropa Kaltluftvorstöße in ihrem weiteren Schicksal auf ihrem Wege nach Süden bisher nur verhältnismäßig selten untersucht wurden, denn die große Sperrmauer der Alpen verhinderte eine freie Ausbreitung sowohl maritimer Kaltluft als auch arktischer Massen nach dem Süden Europas. Es war zu erwarten, daß auch hier in vielen Fällen eine Maskierung nach Art der Teneriffa-Verhältnisse Platz greifen könnte, und diese Vermutung mag es gewesen sein, die die Untersuchung dieses wichtigen Teilgebietes von außeritalienischer Seite kaum in Angriff nehmen ließ.

Naturgemäß waren die italienischen Meteorologen bemüht, die Anschauungen von Bjerknes in ihrer Anwendbarkeit auf italienische Verhältnisse zu prüfen. Hierbei erwiesen die Untersuchungen besonders von Eredia, daß die Fronten im westlichen und mittleren Mittelmeer nur ungenau bestimmt werden können, und auch Castriota kommt zu dem Ergebnis, daß zwar die Anschauungen der Bergener Schule in ihren Grundzügen auch auf das Mittelmeer anzuwenden sind, daß aber von dem eigentlichen Bjerknes-Schema nicht unerhebliche Abstriche zu machen seien.

Gleichwohl deuten die bisher bekannt gewordenen klimatologischen Verhältnisse des westlichen Mittelmeeres darauf hin, daß die Kaltlufteinbrüche sich doch in Italien durchaus an meteorologischen Daten nachweisen lassen.

Das Mittelmeer ist an und für sich warm, wie es der starke ozeanische Einfluß ohne Weiteres erwarten läßt. Die Temperatur ist im Winter um 5° C, im Sommer $\geqq 2°$ C höher als ihm seiner geographischen Breitenlage nach zukommt (nach Alt, Lit. 3, pag. 40.). Betrachtet man aber die von der Deutschen Seewarte gegebenen Differenzen Luft/Wasser, so erkennt man, daß die Luft im allgemeinen kälter ist als das Wasser (Lit. 16, pag. 18). So betragen die Differenzen Luft/Wasser im Dezember —1,6°, im Juli +0,7°. Die geringe Lufttemperatur im Dezember könnte sehr wohl als Folge von im Winter häufigen Kaltlufteinbrüchen in das Mittelmeer gedeutet werden.

In ähnlicher Richtung wäre auch die Betrachtung von Fischer auszuwerten. Dieser schließt aus seinen Beobachtungen, daß über dem Mittelmeer die Wärme in westöstlicher Richtung im Winter nur sehr langsam abnimmt, im Sommer aber um mehr als das Doppelte zunimmt (Lit. 35, pag. 23). Das würde darauf hindeuten, daß das

westliche Mittelmeerbecken im Vergleich zum Osten im Winter doch noch zu kalt wäre, was wieder nur auf bis auf den Boden durchgreifende, also nicht maskierte Kaltlufteinbrüche zurückgeführt werden könnte.

Auch der Verlauf, den die reduzierte 10°-Isotherme des März (Gorczinski, Bei Alt: Lit. 3) im westlichen Mittelmeer nimmt, läßt sich nur durch das Kaltlufteinfließen in den Golfe du Lion erklären. Südlich des 40. Br. Grades haben die Isothermen nämlich, der Strahlung entsprechend, einen zonalen Verlauf. Die 10°-Isotherme macht aber am Golfe du Lion eine merkliche Ausbuchtung nach Süden, was kaum allein auf den Unterschied der Erwärmung zwischen Land und Meer zurückgeführt werden kann.

Interessant ist, daß auch die nordwestliche Adria in eine Südausbuchtung der gleichen Isolinie eingeschlossen ist. Daß hier kein alleiniger Einfluß der Land- und Meerverteilung vorliegt, erweist sich aus den Karten von Mai und September, die ebenfalls Gorczinski gab und bei denen die 18°- bzw. 22°-Isothermen vom Golfe du Lion auf das Meer hinaus, diesmal mehr in südwestlicher Richtung auf die spanische Nordwestküste hin, ausgebuchtet sind.

Die Tatsache, daß auch im September, also im Spätsommer, dieselbe Verteilung besteht, in der Land und Meer nur unwesentliche Unterchiede aufweisen, deutet auf andere Ursachen, unter denen die Zufuhr von Kaltluftmassen vermutet werden kann.

Der Isothermenverlauf im März zeigt, wie erwähnt, eine Ausbuchtung sowohl westlich wie auch östlich der Alpen nach Süden. Hierdurch scheinen zwei Hauptvorstoßrichtungen kalter Luft angedeutet zu sein, die den orographischen Verhältnissen nach auch zu erwarten sind, denn schon die oberflächliche Betrachtung ergibt, daß das westliche Mittelmeerbecken, das einerseits von der Iberischen Halbinsel, andrerseits von der Apennin-Halbinsel begrenzt wird, und dem meteorologisch nach Osten hin das Alpenmassiv den Zufluß sperrt, im Wesentlichen nur auf einem Weg zwischen Alpen und Pyrenäen von Kaltluft erreicht werden kann [1]).

Stellt man Italien in den Mittelpunkt der Betrachtungen, so sind noch Luftströmungen, die östlich der Alpen herumgreifen, als Kältebringer anzusprechen, ganz im Sinne der 10°-Isotherme des März in den Gorczinskischen Karten.

In diesem Zusammenhange kann darauf hingewiesen werden,

---

[1]) Hierbei sei zunächst von dem Wege über Gibraltar, der verhältnismäßig selten beschritten wird, abgesehen. Auf die Kaltluftzufuhr bei Genua bei Fallwinderscheinungen wird später eingegangen werden.

daß die Temperaturverteilung auf der Apennin-Halbinsel im Norden im Winter an der Adriatischen Küste verhältnismäßig niedrige Werte zeigt, sodaß also hier von einer ausgleichenden Wirkung des Meeres weniger gesprochen werden kann, während schon im Süden derselben Küste, wohin die kalten Nordwinde nicht mehr in dem Maße reichen, eine derartige Temperaturminderung fehlt. Die zahlreichen Borauntersuchungen, die die österreichische Meteorologenschule unternommen hat, seien in diesem Zusammenhang nur erwähnt.

2. Kapitel.

Die geographischen Gegebenheiten.

Im Verlauf der Arbeit soll der Versuch unternommen werden, die Kaltluftmassen zu behandeln, die nach Italien und in das westliche Mittelmeer vorstoßen.

Hierzu muß eine über die in der Einleitung gegebenen kurzen Ausführungen hinausgehende Betrachtung der orographischen Gliederung des westlichen Mittelmeerbeckens und Italiens durchgeführt werden.

Als hauptsächliche Einbruchstore für Kaltluftmassen in das westliche Mittelmeer sind, wie wir gesehen haben, in erster Linie das Rhônetal und das Karstplateau anzusehen.

Selbstverständlich sind die Gebirge an den übrigen Mittelmeerküsten für Kaltluftmassen nicht unüberschreitbar.

Das spanische Hochplateau, die „Meseta", stellt jedoch eine Fläche dar, die schon durchaus Luftmassen ozeanischer Herkunft, die sie überziehen, in ihrer Struktur verändern kann. Die Absperrung der Iberischen Halbinsel von dem übrigen Westeuropa durch die Pyrenäen darf ebenso für die Betrachtung der Kaltlufteinbrüche in das westliche Mittelmeer nicht übersehen werden. Andrerseits darf sie auch nicht überschätzt werden, denn bei ihrer West-Ost-Richtung brauchen die Pyrenäen für die bei weitem häufigere Kaltluftzufuhr von Nordwesten her gegen den Golfe du Lion keine unbedingte Barriere zu sein. Sie trennen so mit den nötigen Einschränkungen „Gebiete ähnlichen Klimas" (Lit. 71, pag. 35).

Der Golfe du Lion wird von den Massen in erster Linie über das Garonnetal und den Canal du Midi oder auch durch das Rhônetal erreicht.

Das Alpenmassiv und seine ausgesprochene Funktion als Wetterscheide ist in eingehenden Untersuchungen behandelt worden, an deren Spitze von Fickers Arbeit über den Transport kalter Luftmassen über die Zentralalpen steht. Er stellte schon 1906 fest (Lit. 31), daß es sich keineswegs darum handeln könnte, daß die Alpenkette den Süden gegen jeden Einfluß nördlicher Massen absperre. Vielmehr hätten wir es durchaus nicht selten mit einem Überfließen nicht nur der Pässe, sondern des ganzen Massivs zu tun. Nur sei die Abkühlung wegen der thermodynamischen Vorgänge, die die auf die Südseite gelangte Luft hervorruft, umso geringer, in eine je größere Tiefe sie herabzusteigen vermag. Unter Umständen kann durch geeignete thermische Verhältnisse in der Vertikalen und durch katabatische Vorgänge am Südhang sogar eine Temperaturerhöhung eintreten.

Die von der Kaltluft nicht allzu schwer zu überschreitenden Höhen des Karst stellen die letzte Schwelle vor dem Einbruch in die nördliche Adria dar und werden, soweit das Karstplateau (etwa 600 m) nicht selbst der Bildung kalter Bodenluftschichten förderlich ist, sowohl von kontinentalen als auch von atlantischen Luftmassen erreicht. Letztere haben auf ihrem Wege über Süddeutschland und Böhmen eine Abzweigung nach SW erfahren, oder aber sie sind über die Ostalpen gekommen, deren Kammhöhe im Mittel durchaus unter derjenigen der Westalpen liegt.

Außer diesen beiden hauptsächlichen Vorstoßrichtungen muß hier noch ein weiteres Einbruchstor genannt werden, durch das, allerdings viel seltener, wirksame Kaltluftmassen ihren Weg in das westliche Mittelmeer bis in die italienischen Gewässer fanden. Dies ist die Straße von Gibraltar und das angrenzende Gebiet Südspaniens [1]).

Das westliche Marokko und der Hohe Atlas, an denen sich die Massen oft abregnen, bilden, soweit man das Mittelmeer betrachtet, den nach Süden abschließenden Wall.

Würde man nur das Mittelmeer westlich des Apennin für Kaltlufteinströmen betrachten, also von der Adria absehen, so wäre noch die Bucht von Genua als Einbruchspforte für Kaltluft anzuführen. Hier steigt kalte Luft, die entweder über Triest in das Valpadana

---

[1]) Fälle wurden beobachtet, in denen kalte Luftmassen am Ostrande des Ozeans durch das ostatlantische Hoch nach Süden geführt wurden und bei günstiger Druckverteilung den Weg durch die Straße von Gibraltar nahmen und zwar Südspanien, aber nicht die Biscaya oder das Rhônetal berührten. Im Winter und im Frühjahr waren diese Einbrüche stets an Depressionen gebunden, die sich meist auf dem Ostatlantik gebildet hatten.

gekommen oder dort im Winter selbst entstanden ist, nicht selten unter Fallwinderscheinungen über den Ligurischen Apennin hinab.

Der Apennin selbst stellt durchaus eine Barriere für die aus Westen kommenden Störungen dar, insofern schon, als in seinem Stau aus den mit Feuchtigkeit angereicherten Luftmassen an der Luvseite oft beträchtlicher Niederschlag fällt. Wenn aber schon ein Ergebnis der späteren Kapitel vorweg genommen werden darf, so kommt hinzu, daß die trennende Wirkung des Apennin in Bezug auf das Wettergeschehen im großen nicht überschätzt werden darf. Wie bekannt ist, überschreiten ihn ja auch nicht selten mächtigere Luftmassen. Druckstörungen überschreiten häufig die Halbinsel in etwa 44° nördl. Breite, wo das Gebirge nicht allzu hoch ist (Futapaß 903 m). Diese Tatsache muß hier erwähnt werden, weil sie oft in Zusammenhang mit Kaltlufteinbrüchen steht. Denn die plötzlichen Sturmzyklonen der Adria bilden sich nicht immer an Ort und Stelle, sondern sind oft aus dem Tyrrhenischen Meer über Toscana gewanderte Gebilde, die unter der starken Kaltluftzufuhr an der nördlichen Adria erst die Heftigkeit annehmen, die sie berüchtigt gemacht hat.

3. Kapitel.

Das benutzte Material.

Die Untersuchung wurde über die drei Jahre 1932 bis 1934 erstreckt. Zur Bestimmung der ankommenden Kaltluftmassen konnten in erster Linie neben den Karten der Deutschen Seewarte die Arbeitswetterkarten der Wetterwarte Berlin-Tempelhof benutzt werden, von denen die 8 Uhr-, 14 Uhr- und 19 Uhr-Karten und die ergänzenden Tendenzkarten zur Verfügung standen. Ferner die Wetterkarten von Breslau, Wien, Zürich, das Bollettino Meteorologico Rom und die französischen Wetterkarten.

Für die Bearbeitung des westlichen Mittelmeerraumes — die später näher verarbeiteten Beispiele beziehen sich auf das Jahr 1932 — wurde in erster Linie das Bollettino Meteorologico benutzt, das allerdings nur Morgen- und Abendtermine sowie Maximum- und Minimumwerte der Temperatur gibt, und neben den anderen schon erwähnten das Bulletin Météorologique de l'Algérie, sowie das Bulletin Mensuel, Alger. Für die Einbrüche östlich der Alpen das Bollettino Giornaliero dell'Ufficio Idro-

grafico del R. Magistrato alle Acque Venedig. Schon in Tabellenform verarbeitetes Material gaben die Osservazioni Meteorologiche-Bologna und die Risultati di Osservazioni Meteorologiche-Padova.

Häufig festgestellte Unterschiede in den Terminwerten der verschiedenen Karten bildeten oft Schwierigkeiten in der Verarbeitung.

Die täglichen Pilotbeobachtungen über Italien, auch über Bengasi und Tripolis standen zur Verfügung in dem Bollettino Meteorologico und den Sondaggi Aerologici ed Osservazioni delle Nubi des Ufficio Presagi-Rom, die an den internationalen Tagen des Polarjahres ausgeführt wurden.

Für aerologische Auswertungen wurden die Annali dell' Ufficio Presagi benutzt, die die gelegentlichen, allerdings nur in begrenzter Zahl vorliegenden Aufstiege der Station Vigna di Valle bzw. Montecelio bei Rom zusammenfassen.

Um aber die Charakteristica der Luftmassen im Mittelmeer und die Veränderungen in der Vertikalen erfolgreich untersuchen zu können, reicht dieses noch nicht regelmäßige und noch nicht auf geeignete Stationen verteilte aerologische Material nicht aus.

Eine gute Quelle für zusammenhängendes Material lieferte das Bulletin Annuel de la Commission de Météorologie du Département des Bouches du Rhône, Marseille. Von Oktober 1932 ab konnten die Wetterkarten von Athen hinzugezogen werden.

Die Wahl des Jahres 1932 für die Beispiele der Kaltlufteinbrüche geschah aus folgenden Gründen:

1. Um keine Sonderfälle zu schaffen, und um ein möglichst allgemeines Bild zu erhalten, ohne sich auf die besonders ausgeprägten Fälle zu beschränken, sollte eine bestimmte zeitliche Folge durchlaufend untersucht werden.

2. Bei einem längeren Aufenthalt in Rom war s. Zt. dem Verfasser Material für 1932 zugänglich.

3. Das Jahr 1932 erschien als internationales Polarjahr s. Zt. günstig, weil relativ viel aerologische Beobachtungen zu erwarten waren und ihre Auswertung Erfolg versprach.

Ein Mangel, der sich besonders stark bemerkbar machen sollte, war das Fehlen fast jeglicher Nachttermine für das Mittelmeergebiet, was sich sowohl für das Strömungsbild als auch für die Identifikation der Luftmassen erschwerend auswirken mußte. Desgleichen erwies sich die mangelhafte Beobachtungsmöglichkeit über dem Meere (wenig Schiffsmeldungen) in dieser Hinsicht als nachteilig.

4. Kapitel.

Die Verarbeitung des Materials zur Luftmassenanalyse.

Von dem angeführten Material wurden die Stationen folgender Gebiete einer genaueren Betrachtung unterzogen:
Das Kerngebiet war die Apennin-Halbinsel und die ihr im Westen und Südwesten vorgelagerten Inseln. Es wurden also alle italienischen Stationen einschließlich Tripolis und Bengasi betrachtet. Ferner die dalmatinische Küste sowie die französischen Mittelmeerstationen und die Südfrankreichs. Neben den Stationen der ostspanischen Küste waren im Besonderen diejenigen der afrikanischen Küste des westlichen Mittelmeerbeckens für die Untersuchung des weiteren Verlaufs der Kaltlufteinbrüche von Wichtigkeit.

Von diesen Stationen waren naturgemäß eine ganze Anzahl mit Störungen lokaler Einflüsse behaftet.

Zu diesen gehören zunächst die verschiedenen Höhen der Stationen [1]).

Auch bezüglich der Windrichtung und Geschwindigkeit ergaben sich an verschiedenen Stationen Schwierigkeiten. So scheinen in Genua die Werte der Windgeschwindigkeiten oft erhöht zu sein wegen der Zusammendrängung der Stromlinien an der Bergkette. In schwächerem Maße gilt das auch für die Nordspitze Korsikas, für das Cap Corse. An der Station Ajaccio, die auch nach Westen hin frei liegt, konnten diese Erscheinungen seltener beobachtet werden. Eine Singularität, auf die bereits Eredia hingewiesen hat (Lit. 26), zeigt sich an der kalabrischen Küste an der Station Paola, bei der im besonderen im Hinblick auf die Windrichtung häufig lokale Umstände (Täler in der unmittelbar ostwärts angrenzenden Bergkette) das eigentliche Bild zu verfälschen drohen. (Außerdem können hier, wie Eredia ebenfalls zeigte, Fallwinderscheinungen auftreten).

Die Station Cagliari, wenn auch an der Südostküste Sardiniens gelegen, scheint nicht allzu stark verfälschte Werte zu bringen, umso mehr, als durch die Campidano-Ebene die Verbindung mit der Westküste geschaffen wird und die Luftmassen wenigstens nicht durch Überschreiten von Gebirgen erheblich gestört werden.

---

[1])

Gibraltar	16 m	Genua	54 m	Pola	31 m
Almeria	65 „	Livorno	24 „	Tunis	36 „
Valencia	18 „	Neapel	149 „	Bizerta	9 „
Marignane	6 „	Triest	25 „	Algier	59 „
Cagliari	75 „	Zara	9 „	C. Carbon	225 „
		Fiume	1 „		

Mahon auf Menorca ist im allgemeinen gegen Nordwesten durch Höhen bis zu 358 m geschützt, jedoch in seiner sonst freien Lage nicht allzu sehr durch Lokalfehler belastet.

Die sonst im Voranstehenden geschilderten Unstimmigkeiten lassen sich natürlich dann leicht ausgleichen, wenn, wie in Südfrankreich, die Stationen zahlreich sind.

Eine Bearbeitung des Materials wäre zunächst in der Form denkbar, daß die Massen nach ihrem thermodynamischen Aufbau untersucht und so die einzelnen für die verschiedenen Luftmassen charakteristischen Merkmale allein verwertet werden. (Äquivalentpotentielle Temperatur, Dampfdruck, relative Feuchten.) Dies entspräche Bergerons „Integralsystem" (Lit. 10).

Dieses Verfahren ist zweckmäßig, solange die Luftmassen noch nicht zu starken Einwirkungen des Festlandes unterworfen waren. In diesem Falle wäre auch noch ein anderes Verfahren anwendbar, das Dinies (Lit. 17) zur Ermittelung des Luftkörperklimas von Frankfurt benutzt hat. Man könnte nämlich charakteristische Temperatur- und Feuchtewerte den betreffenden Luftmassen der bekannten Klassifikation zuordnen, und könnte dann versuchen, hieraus auf die Herkunft zu schließen.

Von der Anwendung beider Verfahren mußte in vorliegender Arbeit Abstand genommen werden, denn es muß damit gerechnet werden, daß die Luftmassen meist schon einen erheblichen Weg über Land zurückgelegt haben, ehe sie im Mittelmeer oder auf der Apenninhalbinsel wirksam werden. Für sie gilt also die starke Veränderung, die Festland als Untergrund besonders in der warmen Jahreszeit für jede Luftmasse mit sich bringt. Als ein Beispiel hierfür sei die Untersuchung von Albrecht genannt (Lit. 1) [2]).

Die Richtigkeit dieser Auffassung beweist auch die Statistik der Luftmassen im nächsten Teil der vorliegenden Arbeit, denn es ließen sich die Abkühlung bringenden Massen im Mittelmeer in der kalten Jahreszeit meist wesentlich besser verfolgen als im Sommer. Im

[2]) Albrecht weist auf das Schicksal von Luftmassen hin, die, maritimen Ursprunges, das Skandinavische Festland beschreiten. Bei gegebenen Strahlungsverhältnissen und völlig klarem Wetter hat er die Veränderungen innerhalb einer Luftmasse maritim-polaren Ursprunges, die einen und einen halben Tag über dem Festlande lag, im Sommer verfolgt. Die Temperaturerhöhung am Grunde der Luftmassen, die über sommerlich sonnenbestrahltes Land gingen, betrug nach wenig über einen Tag Landaufenthalt schon mehr als 10°.

Andrerseits konnte während der gleichen Untersuchung aus dem Wolkenbild bei dieser so überaus schnell vom Boden aus erwärmten Luftmasse festgestellt werden, daß der feuchtlabile Zustand schon nach 48 Stunden Landaufenthalt erreicht wurde.

Diese Untersuchungen wurden freilich in der Tundrencharakter tragenden Landschaft Lapplands gemacht.

Sommer ist der Einfluß der lokalen Umstände besonders stark. Dies macht sich auch im Windfeld an der Küste mitunter sehr störend bemerkbar, da hier der Land- und Seewind im Sommer besonders stark zur Geltung kommt.

Um nicht durch derartige lokale Störungen getäuscht zu werden, mußte gleichwohl ein Verfahren gesucht werden, das die Herkunft der Luftmassen festzustellen ermöglichte. So wurde das zwar langwierige, aber verhältnismäßig sichere System gewählt, das eigentlich schon Köppen in seinen „Wissenschaftlichen Ergebnissen" (Seewarte 1877) für die Zeichnung der Trajektorien der Luft angibt (Lit. 54).

Nach diesem Verfahren wurden die Luftmassen, die an den Haupteinbruchsstellen Abkühlung hervorbrachten, bis in ihr Ursprungsgebiet zurückverfolgt, indem entsprechend den Untersuchungen von Gold über den Gradientwind bei der Auswertung seiner Messungen als Umrechnungsfaktor der Faktor 2,3 für den Winter und 2,2 für den Sommer benutzt wurde. Die Versetzung wurde als annähernd parallel den Isobaren angenommen (Lit. 39).

Die gefundenen Ursprungsgebiete wurden in das Schema der vom Reichsamt für Wetterdienst für die einheitliche Ausarbeitung von Wetterkarten gegebenen Richtlinien eingereiht und folgendermaßen bezeichnet:

LM	Hauptsächliches Ursprungsgebiet
mA	Grönland, Spitzbergen.
cA	Nowaja-Semlja, Barentsmeer, Nordrußland, Kältepol.
mG_A	Nördlicher Atlantik, bzw. Kanada.
mG_T	Nördlicher Atlantik um 50° n. Br.
cG_A	Innerrußland, Fennoskandien.
cG_T	Südrußland, Balkan.

Schwierigkeiten ergaben sich oft bei der Rückverfolgung der Luftmassen während der Nacht, vor allem über dem Lande. Hier konnte meist nur der Gradientwind benutzt werden, da die an sich schon sehr spärlichen Beobachtungen oft durch irreführende Werte des Bodenwindes gefälscht wurden, die durch in der Nacht entstandene Bodeninversionen verursacht sein konnten.

Es sei hier bemerkt, daß über dem Mittelmeer die Ausbreitung und Geschwindigkeit der Kältewellen auch auf andere Weise, nämlich unmittelbar durch Beobachtung des Fortschreitens der durch sie ausgelösten Abkühlung festgestellt werden konnte. Hierbei ergab sich, daß der Faktor 2,3 von Gold um 15 % zu hoch war. Dies muß darauf zurückgeführt werden, daß die Bodenreibung über dem meist nur schwach bewegten Mittelmeer häufig nur gering war und so der

Gradientwind sich in diesem Raume stärker auswirkte als über Land in Mitteleuropa und auch über dem Altlantik, für welche Gebiete der Goldsche Faktor ursprünglich gefunden wurde (vergl. auch Beispiele im IV. Hauptteil und Kap. V, II).

Untersucht und in der Statistik der Luftmassen festgehalten wurden nicht nur solche Kaltlufteinbrüche, die durch besondere Heftigkeit hervortraten oder Kältewellen im Sinne der von Fickerschen Arbeiten waren, sondern es wurden an den einzelnen, im Gebiet der an den genannten Einbruchstoren gelegenen Stationen die Tage festgehalten, an denen zum Vortage eine merkliche und durch Advektion hervorgerufene Abkühlung verzeichnet wurde.

Eine klare Begrenzung — etwa in dem Sinne, daß an einer bestimmten Kontrollstation ausschließlich Tage mit Abkühlungen $\geq 4^0$ gegen den entsprechenden Termin des Vortages berücksichtigt wurden — konnte nicht vorgenommen werden, da selbst benachbarte Stationen oft stark voneinander abweichende Temperaturwerte zeigten. Es wurden sogar Abkühlungen $\geq 2^0$ gegen den Termin des Vortages berücksichtigt, wenn durch die Beobachtungen mehrerer Stationen die Gewißheit vorhanden war, daß es sich um advektive Abkühlung handelte, und sich in einem späteren Termin das Gleiche zeigte, eventuell auch eine Maskierung vorlag.

Aus diesem Grunde wurde auch darauf verzichtet, den Grad der Abkühlungen im Einbruchsgebiet statistisch festzuhalten und auszuwerten. Die lokale Verschiedenheit der Werte war zu stark, und auch aus der gesamten einschlägigen Literatur ergab sich, daß diese Erscheinungen gesondert zu behandeln wären. Wedemeyers spezielle Mistral-Untersuchungen geben hierfür den Beleg (Lit. 85).

Die Ursache für die oft eintretende Verwischung der Kältewellen liegt in erster Linie in dem Untersuchungsgebiet selbst. Die wichtigsten Stationen sind Küstenstationen in einem Gebiet, in dem auch im Winter tagsüber eine starke Einstrahlung herrscht. Dies ist auch der Grund dafür, weshalb für die Feststellung der Abkühlung nicht die Mittagswerte gewählt werden konnten, wie dies von Ficker bei seinen Untersuchungen an den Stationen Teneriffas durchführte, sondern in erster Linie Morgen- und Abendtermine. Die Vermeidung der Mittagstermine erfolgte besonders, um Verfälschungen durch Bewölkungsänderungen und durch den Land- und Seewind zu vermeiden. Bei Morgen- und Abendterminen ist dieser Einfluß wesentlich geringer. Hier muß allerdings an die Möglichkeit der Ausbildung von Kaltluftseen gedacht werden, doch ist dieser Vorgang bei Küstenstationen nicht zu erwarten.

II. Hauptteil.

Die Heranführung der kalten Luftmassen an den Mittelmeerraum.

Dem Sinne dieser zusammenfassenden Betrachtung über Kaltluftvorstöße in den italienischen Raum und das westliche Mittelmeer entspricht es, daß, bevor die Erscheinungen bei den Einbrüchen im Einzelnen untersucht werden und das Verhalten der Luftmassen im westlichen Mittelmeer behandelt wird, eine statistische Betrachtung des Materials vorgenommen wird.

Aus ihr lassen sich eine Anzahl von Folgerungen ableiten, die gewissermaßen in klimatologischer Hinsicht die Ergebnisse der Arbeit darstellen.

Diese statistische Betrachtung muß sowohl die Kaltluftvorstöße in den westlichen Mittelmeerraum insgesamt behandeln als auch getrennt nach ihrer Herkunft aufführen. Sie muß dabei vor allem auch auf die Verteilung der Kaltluftvorstöße auf die Monate bzw. Jahreszeiten eingehen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die statistische Erfassung der Andauer der Einbrüche.

Zum Schluß dieses Hauptteiles wird auf das Wetterkartenbild der die Einbrüche auslösenden Wetterlagen und seine statistische Häufigkeit einzugehen sein.

1. Kapitel.

Monatliche Verteilung der Kaltluftmassen.

In Abb. 1 ist die Häufigkeit des Kaltlufteinfließens in das westliche Mittelmeer in den einzelnen Monaten graphisch dargestellt, d. h. es ist die Anzahl der Tage angegeben, an denen im Mittel über 3 Jahre von irgendeiner Stelle in das westliche Mittelmeer Kaltluft einfloß [1]).

[1]) Wäre dagegen eine einfache Summierung aller Tage (Gibraltar + Rhône

Diese Abbildung zeigt für den Monat Januar das Maximum mit 21 Tagen, d. h. an 21 Tagen von 31 ist mit einem Eindringen von Kaltluft über die nördliche Adria bzw. den Golfe du Lion oder Gibraltar zu rechnen. Diese große Anzahl zeigt schon, daß es sich hierbei nicht um durch die Großwetterlage bedingte großräumige Kaltluftvorstöße aus den bekannten Reservoiren für Kaltluft handeln kann, sondern daß auch Luftmassen anderer Art mit daran beteiligt sein müssen. Dies ist im Januar ohne weiteres erklärlich, denn in diesem Monat stellt das Mittelmeer tatsächlich den wärmsten Raum in Südeuropa dar, und alle Luftmassen, die darüber hinweg ziehen, sind aller Wahrscheinlichkeit nach kälter als das Wasser.

Das Gleiche gilt für November, der mit 19 Einbruchstagen kaum hinter Januar zurücksteht. Der Dezember hingegen zeigt eine Verminderung der Kaltlufttage gegenüber den beiden Nachbarmonaten. Dies mag mit der bekannten Singularität im Druckverlauf Ende November zusammenhängen, mit der in Deutschland das Weihnachtstauwetter verbunden ist (Lit. 19).

Von Januar sinkt die Zahl der Kaltlufttage zum April auf 13 ab. Im Mai und Juni ist sie wieder verhältnismäßig groß. Dies rührt offenbar von den Kälterückfällen in dieser Zeit her. Die geringste Zahl der Kaltlufttage fällt auf den Juli. Von da an steigt sie wieder beständig bis zum November. Auch im Sommer bleibt also die Zahl der Tage mit Kaltlufteinfließen verhältnismäßig hoch. Es muß hier nun bemerkt werden, daß tatsächlich nur die Zahl der Kaltlufttage in dieser Statistik gewertet wurde, nicht aber die Ausdehnung des Kaltlufteinbruches.

In Abb. 2 ist die prozentuale Verteilung des Kaltlufteinfließens an der Rhônemündung und der Oberen Adria auf die einzelnen Monate angegeben. Es ist hier für jedes der beiden Einbruchstore die Gesamtzahl aller Tage mit einfließender Kaltluft mit 100 angesetzt und nun angegeben, wieviel Prozent von dieser Gesamtzahl an jedem der beiden Orte auf die einzelnen Monate entfallen. Hier ergibt aus den in der Anmerkung auf Seite 12 angeführten Gründen die Summierung beider Kurven nicht die Kurve der Abbildung 1.

Die Kaltlufteinbrüche zeigen ganz ähnlich der Kurve in Abb. 1 das Minimum im Sommer und das Maximum im Winter. Der Verlauf zeigt hier auch wieder den Dezemberwert niedriger als den des

---

+ Triest) vorgenommen worden, die eine Abkühlung aufweisen (d. h. die Abkühlung am gleichen Tage an der Rhône und bei Triest als 2 Tage, also doppelt gezählt), so wäre weniger der Häufigkeit als vielmehr der Ausdehnung Rechnung getragen worden.

Januar, und die Kälterückfälle im Mai treten deutlich hervor. Interessant ist, daß die über die Adria kommenden Kälteeinbrüche den Dezember-Rückgang der Häufigkeit nicht zeigen und auch das Maximum der Häufigkeit im Februar haben. Dies deutet darauf hin, daß hier schon kontinentalere Verhältnisse einwirken.

Für einen stärkeren maritimen Charakter der Kurve an der Rhônemündung spricht im wesentlichen auch ihr bedeutend gleichmäßigerer Verlauf während des ganzen Jahres. Es zeigt sich deutlich, daß von April bis Juni wesentlich mehr Kaltlufteinbrüche das Rhônetal als die Adria erreichen. So kommt es, daß, wie Abb. 2 zeigt, der Juni im Gegensatz zum September mit einer größeren Zahl von Tagen an der Rhônemündung auftritt. Diese Beobachtung würde in Verbindung zu setzen sein mit der Angabe bei Hofele (Lit. 46, pag. 37), daß auf Sardinien der Juni kälter als der September ist.

Ergänzungen zu dieser Erklärung des allgemeinen Ganges der Kaltlufthäufigkeit gibt noch das allgemeine Druckbild. So ist es für das Ansteigen der Zahl der Tage mit Kaltlufteinfließen von August bis September in Abb. 1 nicht unwichtig, daß im Spätsommer der atlantische Tiefdruck seine nördlichste Lage verläßt und sich weiter nach Süden in Bewegung setzt. Das Tiefdruckgebiet der mittleren Druckverteilung wird im einzelnen Wettergeschehen durch eine Folge von Zyklonen verkörpert, an deren Rückseite eben die Vorstöße maritimer Kaltluft (mA und mG_A) auftreten, die sich schon bis an das Mittelmeer heran fortpflanzen. Auch der weitere Anstieg von September zu Oktober in allen drei Kurven läuft konform mit der Entwicklung des Druckfeldes, das durch die einschneidende Änderung im Aufbau der Gesamtzirkulation der Atmosphäre in dieser Jahreszeit bis in das östliche Mittelmeer hinein (Lit. 87, pag. 52) bestimmt wird.

2. Kapitel.

Der Anteil der verschiedenen Luftmassen an den Kälteeinbrüchen.

Es sollen nun die Luftmassen der erwähnten Klassifikation einzeln betrachtet werden. Die Abb. 3 veranschaulicht, wie jede der betrachteten Luftmassen als Abkühlungbringer sich auf die einzelnen Monate verteilt. Die eine Kurve stellt die Zahl der Tage an der

Adria, die andere die an der Rhône dar, und eine dritte die Tage mit gleichzeitigem Einbruch an Adria und Rhône. Eine Gegenüberstellung dieser Kurven ist oft recht aufschlußreich. Abb. 4 zeigt schließlich eine Zusammenfassung der drei Haupteinfallstore und stellt graphisch dar, wie im ganzen westlichen Mittelmeer sich für jede einzelne Luftmasse die Anzahl der Tage ihres Auftretens im ganzen Jahr auf die Jahreszeiten verteilt.

cA.

Die cA-Luft hat ihren Ursprung nach der üblichen Definition in Nowaja-Semlja, dem Barentsmeer, Nordrußland und dem Gebiet um den Kältepol. Sie wird im Winter durch die russische Antizyklone zeitweise bis nach Mitteleuropa geführt. Da sie Mitteleuropa von Osten her erreicht, tritt sie an der Rhônemündung verhältnismäßig seltener als an der Adria auf.

An der nördlichen Adria werden im Jahresdurchschnitt 25 Tage mit cA-Luft als Abkühlungbringer gezählt. Die größte Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens besteht in den Spätwintermonaten. Auf die Zeit von Dezember bis Februar entfallen 68% dieser 25 Tage. Allerdings gehören die Tage von Oktober bis Dezember fast ausschließlich zum Jahre 1933, während in den anderen Jahren viel weniger cA-Luft und vor allem auch erst im Januar, Februar und März verzeichnet wird. Im Durchschnitt nimmt im März die Zahl schon ab und fällt weiter bis zum Mai auf den Wert Null. Diese Beobachtung wurde in allen drei Jahren gleichmäßig gemacht und erklärt sich einfach daraus, daß die Schneedecke in Nordrußland und Sibirien im Mai verschwindet und damit die Entstehungsursache für die Kaltluft auf dem Kontinent entfällt.

Im Oktober und November treten schon einige cA-Luft-Einbrüche auf, die sämtlich auf das Jahr 1933 fallen und bei denen sich schon früh tiefe Temperaturen in Nordrußland ausgebildet hatten.

An der Rhône wurden im Jahresdurchschnitt 12 Tage mit cA-Luft gezählt, also noch nicht die Hälfte der an der nördlichen Adria eintreffenden. Auch sie liegen zu 80% in den Wintermonaten, beginnen im November und verschwinden im Mai. Auch hier fiel der November- und Dezemberanteil im wesentlichen auf das Jahr 1933, während im Winter 1932/33 der eigentliche Einsatz der winterlichen Witterung mit cA-Massen erst sehr spät, im Januar 1933 begann.

Die Gegenüberstellung der Anzahl der Tage mit cA-Massen an der Adria und der Rhône ist wieder graphisch in Abb. 3 gegeben. Aus ihr entnimmt man Folgendes:

Im Winter gelangt ein recht erheblicher Teil der an der Adria erscheinenden cA-Luft auch an die Rhônemündung. Im März und April dagegen dringen nur sehr wenig Massen dieser Klasse bis dorthin. Der Oktober, in dem schon einige cA-Massen die Adria erreichen, ist an der Rhônemündung noch frei davon. Die im Dezember so häufige Druckverteilung mit hohem Druck über Mitteleuropa und tiefem Druck über dem Mittelmeer ermöglicht zum großen Teil das starke Ansteigen der Kurve an der Rhône im Dezember.

Betrachtet man das ganze westliche Mittelmeer, so beträgt der auf den Winter entfallende Anteil aller Abkühlung bringenden cA-Massen etwa 65%. Im Sommer verschwindet der Anteil ganz, im Frühjahr ist er bedeutend größer als im Herbst und entspricht damit der Natur der Kältequelle[1]). (Vgl. Abb. 4.)

Betrachtet man die Kurve der Tage, an denen gleichzeitig cA-Luft an Rhône und Adria beobachtet wurde (Fig. 3), so erhält man, wie eigentlich zu erwarten war, eine fast völlige Übereinstimmung dieser Koinzidenzkurve mit der Kurve für die Tage des Kaltlufteinfließens an der Rhônemündung. Das bedeutet, daß fast alle an der Rhône erscheinende Kaltluft solchen Massen entstammt, die vorher die Adria erreichten. Es kommt äußerst selten vor, daß cA-Luft an der Rhône auftritt, aber die Adria nicht erreicht. Lediglich im Dezember weichen die beiden Kurven nennenswert voneinander ab. In diesem Falle erkennt man auch den Grund für das Ausbleiben des Kaltlufteinfließens an der Adria bei einem gleichzeitigen cA-Luft-Einfließen an der Rhône. Es wird nämlich in allen solchen Fällen ein Kaltluftvorstoß, der vorher über die Obere Adria geflossen war, an dieser Stelle durch Warmluft abgeschnitten, während an der Rhônemündung die Kaltluft ungehindert weiter einfloß.

cG_A.

Die cG_A-Luft hat ihren Ursprung in Innerrußland oder Fennoskandien. Ihr Transport wird meist im Strömungsbild einer westrussischen Antizyklone vor sich gehen. Das Auftreten dieser Massen wird oft in Zusammenhang mit kontinental-arktischen Massen stehen, insofern nämlich, als es bisweilen arktische Massen sein werden, die bei ihrem langen Aufenthalt über eben diesem Gebiet Innerrußlands die Charakteristika einer cG_A-Masse angenommen und ihren

[1]) Leider ist eine ähnliche statistische Aufteilung der Abkühlung bringenden Luftmassen für Mitteleuropa noch nicht erfolgt, so daß hier, wie auch für die übrigen Luftmassen dieses Kapitels, der gewiß sehr interessante Vergleich mit mitteleuropäischen Verhältnissen fehlt.

ursprünglichen arktischen Charakter verloren haben. So sind auch verschiedentlich niedrige Werte des Auftretens von cG_A-Luft in einigen Monaten durch einen entsprechend höheren cA-Wert ausgeglichen und umgekehrt.

An der Adria wurde cG_A-Luft im Jahresdurchschnitt an 17 Tagen beobachtet. Fast alle fallen auf den Winter mit einem Maximum im Januar. Im März verschwinden die Tage mit cG_A-Luft als Abkühlungbringer. Dies hat offenbar seinen Grund darin, daß hier nur cA-Luft an ihre Stelle tritt. Im Februar und März ist nämlich die polare Kältequelle entsprechend der in der Winternacht bis zu deren Ende absinkenden Temperatur besonders stark ausgebildet und entsendet ihre Kaltluftmassen über ganz Osteuropa, wobei der eigentliche Kontinent nur konservierend wirkt. Im April und Mai erscheinen wieder zwei Tage mit cG_A-Luft, die auf das Jahr 1933 entfallen. Den ganzen Sommer über fehlt die cG_A-Masse, da in ihrem Ursprungsgebiet die Voraussetzungen zu einer Bildung von Kaltluft nicht gegeben sind. Im Oktober treten wieder zwei Tage mit cG_A-Luft auf, im November steigt ihre Zahl wieder an. Die Zahl im Dezember ist ebenso hoch wie im November, doch treten hier auch Luftmassen als Kältebringer auf, die aus dem nördlichen Balkan und Südrußland in die Adria gelangen. Diese Gebiete sind wesentlich kälter als die Oberfläche der Adria, und die über ihnen gebildeten Luftmassen werden daher trotz ihrer Erwärmung durch den Fallwind beim Herabfallen vom Küstengebirge noch als Abkühlung beobachtet. Es ist schwer, für solche Massen eine passende Bezeichnung zu finden, da nach der Klassifikation Luftmassen aus dieser Gegend nicht als „cG_A" aufgefaßt werden können. Um diesen Zusammenhang anzudeuten, wurden diese Luftmassen entsprechend ihrer Herkunft vom Balkan mit „cG_B" bezeichnet. Durch ihr Hinzufügen zu den an der Adria einfließenden Luftmassen entsteht die punktierte cG_A-Kurve.

Die cG_A-Luftmassen an der Rhônemündung folgen in allen Einzelheiten dem Gang der cG_A-Luftmassen an der nördlichen Adria. Es ist klar, daß hier, ebenso wie bei den cA-Massen nur ein Teil von ihnen neben der nördlichen Adria auch die Rhône erreicht. Der Bruchteil beträgt 50%.

Das gleichzeitige Einströmen an Adria und Rhône ähnelt auch hier ziemlich stark dem Gang der die Rhônemündung erreichenden Luftmassen.

Betrachtet man das ganze westliche Mittelmeer, so beträgt der auf den Winter entfallende Anteil aller Abkühlung brin-

genden cG_A-Massen etwa 71%. Im Sommer verschwindet er ganz, im Herbst ist er aber größer als im Frühjahr, weil im Frühjahr, wie oben besprochen wurde, cA-Luft als Kältebringer an Stelle von cG_A-Luft tritt.

mA.

Die mA-Luft hat ihren Ursprung in dem nördlichsten Teil des Atlantischen Ozeans, der Grönlandsee zwischen Grönland und Spitzbergen. Auffällig ist das ausgesprochen doppelte Maximum im jährlichen Gang ihres Auftretens, im Oktober und im Februar/März, während im Dezember nur ein Tag mit Einfließen von mA-Luft an der Rhônemündung und an der nördlichen Adria beobachtet wird. Eine Erklärung dieser auffallenden Verminderung der Tage mit mA-Massen im ersten Wintermonat stößt auf Schwierigkeiten. Die Ursache muß darin gesehen werden, daß die Temperatur der maritim-arktischen Luft bei dem Überschreiten des Ozeans im Herbst, wo auch das nordatlantische Meer nicht allzu kalt ist, im wesentlichen die des Ozeans in gemäßigteren Breiten bleiben wird. Diese Luft wird im Herbst an der Rhônemündung unbedingt als Kaltluft empfunden. Im November nimmt die Zahl dieser Kaltlufttage schon ab, da die Temperatur an der Rhônemündung wesentlich stärker gesunken ist als an der Oberfläche des Atlantik in der Gegend von Irland. Im Dezember erreicht sogar die Temperatur an der Rhônemündung das Temperaturmittel von Valencia in Irland. Maritime Luft, die bis zur Rhônemündung vordringt, wird nun nicht mehr in dem gleichen Umfange als Kältebringer empfunden. In Abb. 8 sind die Temperaturkurven von Marseille und Valencia in Irland gegenübergestellt, die diese Verhältnisse verdeutlichen.

Erst mit Fortschreiten des Winters, besonders im Februar, wird die Zahl der Tage mit mA-Kaltluft-Einfließen wieder größer. Dies rührt daher, daß die gegen Ende der Polarnacht besonders kalten mA-Luftmassen (vergl. Dinies, Lit. 17, pag. 8) nun auch auf ihrem Wege über den Atlantik von der Unterlage nicht mehr wesentlich verändert werden können, sodaß sie, kalt gegen alle übrige Luft, bis zur Rhônemündung vorstoßen [2]).

---

[2]) Dinies (Lit. 17, pag. 18): „Typisch für das polare Klima ist die Verspätung der Temperaturextreme. In der Polnarnacht sinkt die Temperatur infolge Ausstrahlung beständig und erreicht erst zur Zeit des Sonnenaufganges ihr Minimum. Im Polargebiet ist daher der kälteste Monat der Februar oder der März. Diese Verschiebung macht sich auch bei uns bemerkbar, indem die tiefste Temperatur bei PM erst im Februar eintritt."

Die Kurve der mA-Luft zeigt dann im weiteren Verlauf im April einen Abfall, ein Anstieg erfolgt im Mai und im Juni. Er ist auf die aus der Klimatologie bekannten Kälterückfälle in diesen Monaten zurückzuführen.

An der Adria und an der Rhône zeigen die Kurven gleichsinnigen Verlauf. Es werden im ganzen Jahre an der Rhône durchschnittlich 24 Tage und an der Adria 17 Tage mit mA-Luft als Abkühlungbringer beobachtet.

Die Tage mit mA-Luft-Einfließen an der Rhône sind besonders im Winter und Frühjahr viel zahlreicher als an der Adria. Auf den Gegensatz gegenüber den Verhältnissen bei cA- und cG_A-Luft, wo die Kaltlufttage an der Adria etwa doppelt so zahlreich als an der Rhône waren, sei hier hingewiesen. Die Ursache liegt darin, daß die Kaltluftquelle bei cA und cG_A im Osten, bei mA und, worauf später noch eingegangen werden wird, bei mG_A im Westen liegt. Es wird also die der Kaltluftquelle zunächst liegende Einbruchspforte auch von der Kaltluft bevorzugt.

Es ist interessant, daß die herbstlichen Tage mit Kaltlufteinfließen an Adria und Rhône ziemlich wenig voneinander abweichen, während im Winter die Rhône stark bevorzugt wird. Dies hängt im Sinne der für das Dezember-Minimum gegebenen Erklärung offenbar damit zusammen, daß die kontinentalere östliche Eingangspforte an der Adria im Herbst noch etwas wärmer ist als die an der Rhône, also für ozeanische Kälteeinbrüche noch empfindlicher ist. Hierdurch wird die östliche Lage, die die Adria an sich schwerer erreichbar macht, wieder ausgeglichen. Daß dies so ist, zeigt die wieder in Abb. 3 eingezeichnete Kurve des gleichzeitigen Einströmens an Adria und Rhône, die sowohl im September als auch im November eine verhältnismäßig kleine Zahl von Tagen mit Einfließen von kalter mA-Luft anzeigt. Im Januar und Februar dagegen weicht die Kurve wenig von der der Anzahl der Kaltlufttage in Triest ab. Die Kurve des gleichzeitigen Einströmens zeigt den Wert Null für den Monat Mai. Die Mai-Kälteeinbrüche erreichen also entweder die Rhônemündung oder die obere Adria. Dies allein schon kann als Beweis für eine verhältnismäßig kleine räumliche Ausdehnung dieser Kaltluftmassen dienen, die auch häufig einen etwas östlicheren Weg entsprechend der allgemeinen Druckverteilung (vergl. Elsner, Lit. 20) nehmen als die mA-Luftmassen in den übrigen Monaten.

Die Verteilung der mA-Luftmassen im ganzen westlichen Mittelmeer über das Jahr zeigt im Sommer ein ausgesprochenes

Minimum. Es entfallen auf den Sommer nur 8% aller mA-Luftmassen, während auf die übrigen Jahreszeiten etwa je 30% aller Abkühlung bringenden Massen dieser Gruppe kommen.

mG_A.

Die mG_A-Luft hat als Ursprungsgebiet den nördlichen Atlantik und im Winter häufig auch (nach Schinze, Lit. 77) Kanada.

Die Kurve der mG_A-Luft läuft an Adria und Rhône annähernd gleichsinnig, doch liegt die Anzahl der Tage mit mG_A-Luft an der Rhônemündung (im Jahresdurchschnitt 68 Tage) in den Spitzen doppelt so hoch als an der Adria. Die Ursache liegt hier genau wie bei der mA-Luft in dem westlichen Ursprung dieser Luftmassen. Die mG_A-Luft zeigt ein ausgesprochenes Maximum im Mai, ein zweites im Oktober und ein weniger ausgeprägtes im Januar.

Es handelt sich im Mai dabei offenbar um Kälterückfälle, die das schon erheblich erwärmte Mittelmeerbecken begünstigt. Als Quelle der Kaltluft dient hier mG_A-Luft, die nach dem allgemeinen Strömungsbild in dieser Zeit auch am leichtesten den Weg in das Mittelmeer findet (vergl. die Luftdruckkarten von Elsner, Lit. 20).

Den Sommer über nimmt bis zum September die Zahl der Tage mit mG_A-Luft ab. Für das Oktober-Maximum sind ganz offenbar die gleichen Überlegungen gültig, wie sie schon für die mA-Massen angestellt worden sind. Auch hier ist das Mittelmeergebiet wesentlich wärmer als die Ursprungsgebiete der mG_A-Luft. Der Abfall zum November und Dezember dürfte ebenso auf das stärkere Temperatur-Absinken im Mittelmeergebiet gegenüber dem des nördlichen Atlantik zurückzuführen sein.

Schon in Fig. 2 zeigte sich an der Rhônemündung eine stärkere Zunahme der Tage mit Kaltlufteinströmen von September zu Oktober. Aus der Fig. 3 geht nun hervor, daß dieser Anstieg neben den mA-Massen ausschließlich den mG_A-Luftmassen zuzuschreiben ist. Diese wären somit auch zur Erklärung für den kräftigen Temperaturabfall im westlichen Teil des Mittelmeeres heranzuziehen, den schon die Seewarte (Lit. 16, pag. 28) im Oktober erwähnt und der auch sonst beobachtet wird.

Es muß aber bemerkt werden, daß auch das Strömungsbild des Oktober dem des Mai in Bezug auf die Lage des Azorenhochs und die Wiederbelebung des Isländischen Aktionszentrums ähnelt, soweit das westliche Mittelmeer in Betracht kommt, während für die Zeit des ganzen Sommers ein sich bis zum September immer mehr ver-

steifender Hochdruckriegel in Frankreich das Zuströmen kalter mG_A-Massen mehr und mehr erschwert. (Vergl. die Karten von Elsner.)

Es ist noch erforderlich, eine Erklärung für den Anstieg im Januar und den starken Abfall im Februar zu geben. Das Maximum im Januar mag mit den verhältnismäßig tiefen Temperaturen in dem häufigen Ursprungslande der mG_A-Luft, Kanada, erklärt werden. Für das Minimum im Februar, dem ein Maximum von mA-Luft gegenüber steht, dürfte das gleiche Austauschprinzip maßgeblich sein, das zwischen der Häufigkeit von cA- und cG_A-Luft im Februar und März oben als gültig anerkannt wurde. Die wesentlich aktiveren Kälteeinbrüche aus dem Polargebiet beherrschen die Zirkulation.

Die Tage mit mG_A-Luft an der Oberen Adria sind erheblich weniger zahlreich (im Jahresdurchschnitt 28 Tage) als an der Rhônemündung. Es mag hier gleich bemerkt werden, daß auch das gleichzeitige Einströmen an der Adria und Rhône nicht sehr ausgebildet erscheint. Dies liegt zum großen Teil an der Phasenverschiebung des Einsatzes der Abkühlung zwischen Rhône und Adria, die durch die Laufzeit der Kaltluft nördlich der Alpen bedingt ist. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß ein solcher Einfluß der Laufzeit sich nur dann wesentlich bemerkbar machen kann, wenn die räumliche Ausdehnung der Kaltlufteinbrüche verhältnismäßig gering ist. So scheinen im Oktober die mG_A-Luftmassen auch eine viel größere räumliche Ausdehnung zu besitzen als beispielsweise in den Sommermonaten. Betrachtet man die Andauer der jeweiligen Einbrüche in diesen Monaten, so findet man diese Vermutung bestätigt.

Es ist interessant, daß im November und Dezember die mG_A-Luft in Triest fast ganz als Abkühlungbringer verschwindet und auch im ganzen übrigen Winter und die beiden ersten Frühjahrsmonate hindurch völlig unbedeutend bleibt. Dies rührt von der allgemeinen Zirkulation her, die im Winter eine östliche Luftströmung in der nördlichen Adria entstehen läßt, durch die das Herankommen von cA- und cG_A-Massen begünstigt wird. Kommen maritime Kaltluftmassen im Winter an die nördliche Adria, so sind es mA-Luftmassen, die auf einem nördlicheren Wege als die mG_A-Massen dorthin gelangt sind. Dem entsprechend zeigt Abb. 4 für das ganze westliche Mittelmeer in der Jahresverteilung ein ausgesprochenes Winterminimum, in dem nur 17% der gesamten Tage mit mG_A-Luft enthalten sind, während etwa 27,5% auf jede der übrigen Jahreszeiten kommen.

Zusammenfassung.

In den Abb. 4 und 5 ist die Zusammenfassung dieser Betrachtungen graphisch dargestellt. Von ihnen ist Abb. 4 bei jeder der behandelten Luftmassen schon mit besprochen worden. Sie stellt den Verlauf der Tage mit dem Einfließen von Kaltluft bestimmter Herkunft je Jahreszeit dar. Deutlich erkennt man, daß im Winter alle Luftmassen maßgeblich an den Kälteeinbrüchen beteiligt sind, während im Sommer die Einbrüche von mG_A-Luft weit überwiegen, wobei allerdings kontinental-arktische Luft schon aus allgemeinen klimatologischen Gründen nicht mehr entstehen kann.

Rechts ist in Abb. 4 die Anzahl der Tage im Jahr dargestellt, an denen irgendwo im westlichen Mittelmeer ein Einfließen von Kaltluft bestimmter Herkunft stattfindet. Das große Überwiegen der mG_A-Luft gegenüber den anderen Kaltluftarten wird hier besonders deutlich.

Es ist nun interessant, diese Darstellung mit der prozentualen Verteilung zu vergleichen, die für die Herkunft der einzelnen Kaltluftmassen gegeben wird, die an der Adria bzw. der Rhônemündung einströmte. Dies ist in Abb. 5 geschehen. Aus ihr wird ersichtlich, daß nur für die Rhône der weitaus größte Teil aller einströmenden Kaltluftmassen (mehr als die Hälfte aller 125 Tage im Jahresdurchschnitt) mG_A-Ursprung aufweist. Für die Adria bildet die mG_A-Luft nur etwa 25% aller einströmenden Kaltluftmassen (im ganzen Jahre durchschnittlich 105 Tage), also ebenso viel, wie an dieser Stelle von cA-Luft bestritten wird. Der Prozentsatz der mA-Luft ist an der Einfallspforte der Adria etwas geringer als der an der Rhône, während cG_A und cA an der Adria prozentual etwa doppelt so häufig einströmen wie an der Rhône. Das Gleiche gilt für die indifferenten und Mischluftmassen, die in der bisherigen Darstellung der Verteilung nicht berücksichtigt wurden. Auch diese strömen an der Adria etwa doppelt so oft ein als an der Rhône.

Die Darstellung zeigt, daß die nicht berücksichtigten, weil nicht klassifizierbaren Abkühlung bringenden Luftmassen in beiden Einbruchsgebieten nur einen kleinen Anteil der gesamten Kaltluftmassen bilden.

Nicht mitberücksichtigt wurde bei der Darstelllung der Verteilung auch eine an der Einbruchspforte der Rhône erscheinende Kaltluftmassenart, die der Klassifikation entsprechend mit mG_T bezeichnet wurde. Sie stammt aus dem Atlantischen Ozean westlich der Scillyinseln und trat im Mai, Juni, Oktober und Dezember an 3 bzw. 2 Tagen als Abkühlungbringer auf.

3. Kapitel.

Über die Andauer der Kaltlufteinbrüche.

In der bisherigen Darstellung ist nur die Zahl der Tage behandelt worden, an denen überhaupt ein Einströmen kalter Luft verschiedener Herkunft bzw. an verschiedenen Stellen stattfand.

Über den inneren Zusammenhang der einströmenden Kaltluftmassen läßt sich auf diese Weise naturgemäß keine Vorstellung erhalten. Um die Form der Vorgänge besser erfassen zu können, wurde eine Statistik der Andauer der Einbrüche angelegt. Diese Untersuchung hatte folgendes Ergebnis:

In den drei Jahren 1932/34 wurde an 376 Tagen ein Einströmen Abkühlung bringender Luftmassen in den Golfe du Lion beobachtet.

In 98 Fällen	wurde das Einströmen	an	1—2	Tagen	hintereinander	beobachtet			(153)
„ 43	„	„	3—4	„	„	„			(141)
„ 9	„	„	5—6	„	„	„			(49)
„ 3	„	„	7—8	„	„	„			(23)
„ 1 Fall	„	„	> 8	„	„	„			(10)
							Gesamtzahl		376.

Von großer Wichtigkeit ist die Betrachtung des Jahresganges des Einströmens. Dieser ergibt:

Es entfielen im	auf 1—2	3—4	5—6	7—8	> 8 tägiges Einfließen
Januar	9	14	16	8	
Februar	4	14	6	15	
März	11	16			
April	10	16			
Mai	25	14			
Juni	17	14			
Juli	16	3			
August	11	6			
September	13	7			
Oktober	11	18	11		
November	6	15	16		
Dezember	20	4			10 Tage.

Auffallend ist hier der verschiedene jährliche Gang der Kälteeinbrüche geringerer und der größerer Dauer. Die Zahl der Kälteeinbrüche geringer Dauer ist besonders niedrig im Januar und Februar. Im übrigen Jahr liegt sie höher, das Maximum fällt auf den Mai. Die Kälteinbrüche größerer Dauer (≧ 3 Tage) sind im Hochsom-

mer und Frühherbst auffallend selten. Die Einbrüche von sehr langer Dauer (≧ 7 Tage) entfallen auf den Winter.

Diese Verteilung der langdauernden Kälteeinbrüche deutet schon auf die Luftmassen, die an ihnen beteiligt sind. Tatsächlich sind es fast durchweg cA-Massen. Bei den Einbrüchen kurzer Dauer findet man im Januar und Februar umgekehrt eine verhältnismäßig kleine Anzahl. Diese deutet darauf hin, daß die im Sommer besonders wirksamen mG_A-Luftmassen wesentlich zu kurzdauernden Kaltlufteinbrüchen Veranlassung geben. Im Dezember wird aber auch noch eine erhebliche Anzahl kurzdauernder Einbrüche gefunden, die z. T. dadurch entstehen, daß hier auch cG_A-Luftmassen von verhältnismäßig geringen Abmessungen ihren Weg in den Golfe du Lion finden.

Das sommerliche Überwiegen der kurzdauernden Einbrüche stimmt auch mit den Angaben von Wedemeyer überein (Lit. 85), die dieser für die Dauer des Mistral nach den Beobachtungen mehrerer Verfasser macht. Wedemeyer fand bezüglich der Verteilung der 3—4 tägigen Einbrüche keinen regelmäßigen Gang im Laufe des Jahres. Hier zeigte sich jedoch eine Verringerung im Hochsommer und Frühherbst, die als Folge eines solchen jährlichen Ganges aufgefaßt werden muß

Die Betrachtung der Dauer der einzelnen Einbrüche östlich der Alpen in die nördliche Adria ergibt grundsätzlich ein ähnliches Bild wie an der Rhône, wie es auch nach den vorliegenden Arbeiten über die Bora zu erwarten war.

In der warmen Jahreszeit heben sich die kurzanhaltenden Einbrüche mit ein bis zwei Tagen Dauer hervor. So wurden im Juli in allen drei Jahren nur Fälle von höchstens 2×24 Stunden Dauer beobachtet. Ein Einströmen an mehr als vier Tagen hintereinander beschränkte sich auf die Monate November bis April, und sehr langes Einströmen während ausgesprochener Ostwetterlagen, das allerdings nicht für die ganze Dauer mit regelrechter Bora verbunden war, ausschließlich auf die Wintermonate.

Fischer (Lit. 35) gibt als besondere Häufigkeit für die Bora 1—3 und 9—15 tägiges Einströmen an, während Mazelle (Lit. 63) in der Periode 1886/95 als längste Dauer 9 Tage fand. Da im vorliegenden Fall nicht nur ausschließlich Boraerscheinungen beobachtet wurden, darf es nicht Wunder nehmen, daß auch ein Fall beobachtet wurde, an dem 13 Tage lang hintereinander Kaltluft einfloß.

4. Kapitel.

Der Zusammenhang zwischen Kaltlufteinströmen und den für Italien maßgeblichen Isobarentypen.

In der Betrachtung der Luftmassenwege ist vielfach schon auf die Druckverteilungen eingegangen worden, die die Kaltluftbewegungen auslösten und leiteten. Es liegt nahe, diesen Druckverteilungen eine besondere Behandlung zuteil werden zu lassen. Für Italien liegt eine Klassifikation der dieses Land besonders interessierenden Druckverteilungen vor, an die eine derartige Betrachtung zwanglos angeschlossen werden kann.

Diese Klassifikation wurde nach einleitenden Untersuchungen von Schiaparelli, De Marchi und Ferrari von Fabris mit 18 Typen vorgenommen. Später wurden diese 18 Typen auf 12 reduziert (Lit. 30). In Eredias Lehrbuch der Meteorologie (Lit. 28) werden diese 12 Typen, die nach der Periode 1926/1930 aufgestellt wurden, und auf die sich etwa 80% aller Isobarenkarten, soweit sie Italien betreffen, zurückführen lassen, beschrieben und abgebildet.

Weil diese Untersuchungen in Deutschland noch nicht behandelt worden sind, für die vorliegende Arbeit aber Interesse bieten, wurden im Anhang die 12 für Italien maßgeblichen Isobarentypen und ihre Charakteristik in der Form von Eredia (Lit. 28) zusammengefaßt und gezeichnet (Abb. 9).

Bei der Verwendung der Typen in der vorliegenden Arbeit kommt es darauf an, wieweit sie an der Heranführung von Kaltluft an den italienischen Mittelmeerraum Anteil haben.

Die Fähigkeit, Kaltluft heranzuführen, wird je nach der Jahreszeit naturgemäß verschieden sein. Eine weitere sehr wichtige Bedeutung hat die Lebensdauer eines jeden dieser Wettertypen. Denn selbstverständlich kann die Heranführung der Kaltluft aus ihrem Ursprungsraum dann auf sehr verschiedenen Wegen stattfinden, wenn es sich um schnell wechselnde Gebilde handelt, während umgekehrt bei stationären Luftdruckgebilden die Typen selbst schon die Strombahnen für die Luft vorschreiben. So leuchtet ein, daß die Typen IV, V und VI im Winter für die Heranführung von cA-Luft oder cG_A-Luft zunächst an der Adria und dann an der Rhône die Voraussetzung sind. Hierbei wird der Typ VI besonders auch für die Heranführung balkanischer Luft verantwortlich gemacht werden können.

Bezüglich der vom Meere kommenden mA- und mG_A-Luft dürfte die Anwendung dieser Typen schwieriger sein. Immerhin entsprechen

einige Fälle annähernd stationären Verhältnissen. Z. B. entspricht der „atlantische" Typ I, soweit Italien betroffen wird, fast bis in die Einzelheiten der Luftdruckverteilung im langjährigen Mittel bei den Kälterückfällen der dritten Pentade des Juni. (Vgl. Marten: „Über die Kälterückfälle im Juni", Lit. 62). Die mA-Luft-Einbrüche des Juni und wohl auch z. T. die des Mai werden auf derartigen Wetterlagen beruhen. Hingegen werden die für die Heranführung von mA-Luft zu anderer Jahreszeit und auch mG_A-Luft letzten Endes in Betracht kommenden Typen VIII, IX, X und vielleicht auch XI kaum in jedem Falle als Kaltluftbringer für das westliche Mittelmeer angesprochen werden können, da es hier ganz auf die Vorgeschichte der bei ihnen auftretenden, ihren Ort schnell wechselnden Depressionen ankommt. Es ist interessant, daß ihnen z. B. in dem von Elsnerschen Luftdruckatlas keine einzige mittlere Wetterkarte entspricht, im Gegensatz zu der eben gefundenen Übereinstimmung zwischen Typ I und der mittleren Karte des Pentadenmittels für den Kälterückfall im Juni.

Es ist nun aufschlußreich, die Häufigkeitsverteilung der für Kälteeinbrüche in Betracht kommenden Luftdrucktypen zu vergleichen mit der Häufigkeit des Einfließens von Kaltluft aus den Ursprungsgebieten, auf die die betreffenden Druckverteilungen hindeuten. Hierzu kann die Tabelle dienen, die aus den Prozente angebenden Zahlen der Tabelle von Fabris zusammengestellt ist und gleichfalls im Anhang angefügt wird. In dieser Tabelle sind die Zahlen der Fälle angegeben, an denen der betreffende Wettertyp bestand.

Man zählt nun die Typen I, VIII, IX, X und XI zusammen und multipliziert mit $0{,}76 = 3/5 \times 0{,}84 \times 3/2$, entsprechend der Tatsache, daß die Tabelle sich auf die Jahre 1926/30, also auf 5 Jahre bezieht, während die vorliegende Arbeit nur auf 3 Jahre ausgedehnt ist, daß 301 von 1826 Fällen, also etwa 16 % unberücksichtigt bleiben mußten, weil sie in der Klassifikation nicht untergebracht werden konnten, und daß die für die Häufigkeit der einzelnen Typen angegebenen Zahlen nicht wirklich der beobachteten Anzahl der Tage entsprechen, sondern in Promille der benutzten Zahl der Fälle ausgedrückt waren. So erhält man den in Abb. 6 dargestellten Verlauf für die Summe aller Wetterlagen, die maritime Luftmassen in den westlichen Mittelmeerraum über den Golfe du Lion einströmen lassen.

Diesen Werten ist gegenübergestellt die Summenkurve der mG_A + mA-Luftmassen aus der Abb. 3, also die Kurve der vom kalten nördlichen Ozean herkommenden Kaltluftmassen. Dieser Vergleich zwischen der Häufigkeit der Wetterlagen, die für das Einströmen mari-

timer Kaltluft nach Fabris in Betracht kommen müßten, und der Häufigkeit der aus dem vorliegenden Material ermittelten maritimen Kaltluftmassen ist in Abb. 6 dargestellt. Er zeigt eine überraschende Ähnlichkeit bezüglich der mittleren Häufigkeit. Auch die ganze Kurvenform mit den Maxima um den Mai herum und im Oktober und den niedrigen Werten im Winter und Hochsommer ist in beiden Kurven ganz ähnlich.

Klarer allerdings kommt der ganze Zusammenhang heraus, wenn man an Stelle der Summierung von mA- und mG_A-Luft die mG_A-Luftmassen allein betrachtet. Diese mG_A-Kurve ist in der gleichen Abbildung noch gestrichelt angedeutet. Im gesamten liegt sie dann allerdings nicht unerheblich niedriger als der Mittelwert der Kurve der maritimen Wettertypen bzw. der maritimen Kaltluftmassen. Es dürfte also die Erklärung des jährlichen Ganges der Häufigkeit des Einfließens von mG_A-Luft in den Golfe du Lion, die auf pag. 20 gegeben ist, gleichzeitig auch eine Erklärung für den jährlichen Gang der Häufigkeit der maritimen Wetterlagen von Fabris' Typen ergeben.

Auch für die kontinentalen Massen läßt sich diese Betrachtung durchführen. Hier sind die Typen IV, V und VI zusammengefaßt, die als stationäre Kaltluftlagen bereits eingangs erwähnt wurden. Zu diesen Typen ist noch als Kaltluftbringer kontinentaler Kaltluft der Typ III hinzugefügt. Dieser Typ, der nach der Tabelle von Fabris besonders im Januar häufig ist, stellt ganz offenbar eine kurzlebige Wetterlage dar und wird auch von Eredia als eine solche mit wechselndem Einfluß auf das Mittelmeerbecken beschrieben. Trotzdem zeigt das Druckbild deutlich, daß an der Südseite der östlichen Antizyklone Kaltluft aus dem nördlichen Balkan zur Einbruchspforte an der Adria strömen kann. Dieser Typ müßte also als einziger nicht-stationärer Typ, der Kaltluft kontinentaler Herkunft bringen kann, zu den stationären Kaltluft bringenden Typen hinzugefügt werden.

Die Abbildung 7 zeigt deutlich, daß im Winter die Häufigkeit der kontinentalen Kaltluftmassen und die der Kaltluft bringenden antizyklonalen Typen übereinstimmt. Bezeichnenderweise weichen die Kurven umso mehr von einander ab, je weiter die betrachtete Zeit von der kalten Jahreszeit ab liegt. Das rührt daher, daß schon von März an die Bildung kalter Festlandsluft in den Italien benachbarten Gebieten immer mehr erschwert wird und im Sommer wegen der Bodenerwärmung durch die Strahlung ganz fortfällt, während natürlich der antizyklonale Typ im Sommer sehr häufig zustande kom-

men kann. Das Gleiche gilt für die Verhältnisse im Spätherbst in umgekehrter zeitlicher Folge.

In den folgenden Kapiteln wird gezeigt werden, daß der Ablauf des Wettergeschehens im italienischen Mittelmeerraume von den Einbrüchen von Kaltluftmassen in dieses Gebiet gesteuert wird. Denn fast alle Zyklonen des Mittelmeeres werden ausgelöst von Kaltluftmassen. Auf diese Tatsache kann in diesem Zusammenhange am besten hingewiesen werden, nachdem eben festgestellt worden ist, daß die Heranführung der Kaltluftmassen mit der europäischen Großwetterlage durch die in Italien mögliche Typisierung auf das engste verbunden ist. Es besteht also völlig zu Recht der Ausspruch Bilancinis, der in einer Sitzung der Geophysiker und Assistenten der Aerologie in Rom im Anschluß an die Bearbeitung der Jahre 1931 bis 1933 ausführte:

„Fast immer ergab sich für die Italien interessierenden Druckverteilungen eine Abhängigkeit zu der Gesamteuropa bestimmenden Lage. Unabhängige, bzw. vom afrikanischen System abhängige Verteilungen wurden sehr selten beobachtet."

III. Hauptteil.

Das Verhalten der Kaltluftmassen im westlichen Mittelmeerraum.

1. Kapitel.

Die Hauptstrombahnen der Kaltluft im westlichen Mittelmeer.

Nachdem im vorangegangenen Teil die Heranführung der Kaltluftmassen an die Einbruchstore ausführlich beschrieben worden ist, muß jetzt auf die Vorgänge im Mittelmeerraum eingegangen werden, die sich bei dem Fortschreiten der Kaltluftmassen dort abspielen.

In der Abbildung 10 sind die Hauptstrombahnen eingetragen, die die Kaltluftmassen einzuschlagen pflegen, nachdem sie von einem der Einbruchstore aus in den Mittelmeerraum gelangt sind. Die Strombahnen sind mit den Buchstaben A bis G bezeichnet worden, wobei A den Weg der Kaltluftmassen vom südwestlichsten Einbruchstor, der Straße von Gibraltar, bezeichnet, der im vorangehenden Teil nur verhältnismäßig kurz erwähnt werden konnte, weil nur wenige Kaltluftmassen im Mittelmeer von hier aus in Erscheinung traten. Der Weg geht etwa von Gibraltar bis nach Sardinien und bisweilen auch noch darüber hinaus.

Die Hauptstrombahn B bezeichnet den Weg, den die Luftmassen, die über dem Golfe du Lion erscheinen, gewöhnlich einschlagen. Sie gehen vom Golfe du Lion zur Straße von Messina und gelegentlich weiter in das Ionische Meer. Es handelt sich hierbei, wie aus den vorhergehenden Kapiteln geschlossen werden kann, hauptsächlich um maritime Kaltluftmassen. Es muß aber auch schon hier betont werden, daß auch gelegentlich kontinentale Kaltluftmassen diesen Weg nehmen, wenn sie etwa mit der Wetterlage des Typs VI der Druckverteilungen (Antizyklone über Mitteleuropa, Zyklone über dem Mittelmeer) unter der Herrschaft einer Zyklone über Mittelitalien bis zur Rhônemündung herangeführt werden. Dann frischen sie diese Zyklone auf und brechen dabei auf dem Wege B in das westliche Mittelmeerbecken ein.

Eine Abwandlung des Weges B bildet der Weg C, der vom Golfe du Lion nach Südwest, gegen die katalanische Küste abzweigt. Für das Zustandekommen dieses Weges sind verschiedene Ursachen anzuführen. Zunächst findet er sich verhältnismäßig häufig im Sommer als Abzweigung der Strombahn B, die dann gewissermaßen ein fächerförmiges Ausbreiten zeigt. Dies geschieht, wenn das Azorenhoch über Nordspanien liegt. Ein Beispiel hierfür bildet die Wetterlage vom 12. IV. 32, die im folgenden Teil ausführlicher beschrieben werden wird. Es kann auch vorkommen, daß C ganz selbständig auftritt, ohne daß sich überhaupt B entwickelt. Dies ist dann der Fall, wenn eine Wetterlage des Typs IV (Europäische Antizyklone auf Italien ausgedehnt) oder des Typs V (Antizyklone über Mitteleuropa, Zyklone im SE von Italien) über Italien herrscht. Dann werden antizyklonale, kontinentale Kaltluftmassen (cG_A oder cA) nicht nur nach Triest, sondern auch an die Rhônemündung herangeführt und laufen nun wieder eigentlich an der Südseite von Isobaren der Antizyklone entlang, ohne von der Küste des Golfe du Lion aus weit in das Mittelmeer einzudringen.

Die Luftmassenbahnen D bis G beginnen über Triest bzw. über der dalmatinischen Küste. Sie bilden naturgemäß gewöhnlich die Bahnen der winterlichen Kaltluftmassen. Es ist ohne weiteres zu erkennen, daß die Bahn D, die von Triest in das Valpadana einbricht, gerade den winterlichen Wetterlagen mit der Antizyklone im Norden entspricht. Natürlich tritt sie dann nicht allein auf, sondern vergesellschaftet mit einer der übrigen Bahnen aus diesem Raume (F oder G), da ja im allgemeinen die südlich der Antizyklone bewegte Kaltluftmasse weit größeren Umfang hat, als daß sie nur das Valpadana überfluten könnte. Im Sommer tritt die Hauptstrombahn D vergesellschaftet mit Einbrüchen maritimer Kaltluft auf der Strombahn B auf, indem sie die warme Poebene meist unter starker Gewitterentwickelung mit Kaltluft versorgt, die den Weg östlich um die Alpen herum gefunden hat und mit den Einbrüchen über der Rhône zusammenfällt.

Auch die Hauptstrombahn E ist eine Folge der Bewegung von Kaltluftmassen meist maritimer Herkunft unter der Einwirkung von Tiefdruckgebieten, die ihren Ort und damit das Kartenbild schnell verändern, wie es bei Kaltluftmassen maritimer Herkunft und Wetterlagen wenig stabiler Form die Regel bildet. Der Haupteinbruch findet dann natürlich auf der Strombahn B statt, während gleichzeitig mit ihm an die Adria nur Luftmassen verhältnismäßig geringeren Ausmaßes gelangen, die eine in der Adria liegende Zyklone um-

kreisen. Diese Zyklone hat sich entweder durch Ostwärtswandern der Genuazyklone gebildet, oder liegt in der kälteren Jahreszeit ohnehin über der wärmeren Adria. Durch das Südostwärtswandern dieser Zyklone über der Adria während des Vorschiebens der Kaltluft erscheint die Hauptstrombahn E noch etwas gestreckter als die Stromlinien der Zyklone. Durch ihre auch dann noch erkennbare Krümmung deutet sie unter allen Umständen ihr Gebundensein an die Adriadepression an.

Die gewaltigen winterlichen Kaltlufteinbrüche in den westlichen Mittelmeerraum von der dalmatinischen Küste her verfolgen die Bahnen F und G, je nachdem die Wetterlage V/VI oder IV vorherrscht, je nachdem also das Tiefdruckgebiet über Italien oder südostwärts davon dem im mittleren Nordeuropa liegenden Hochdruckgebiet gegenüber steht.

Diese Bahnen bringen die starken Abkühlungen in ganz Italien und damit die Einbeziehung des Mittelmeerraumes in die mitteleuropäische Zirkulation.

Andrerseits geben die Kaltluftmassen der Hauptstrombahn F gerade wieder die Kaltluft zur Regeneration der zum östlichen Mittelmeer ziehenden Zyklonen ab, die sich dann trotz der starken Erwärmung über dem warmen Meer als relative Abkühlung von vielen Graden bis nach Ägypten hin nachweisen läßt. Es ist einleuchtend, daß der Typ VI der Druckverteilungen, der dieser Wetterlage zunächst entspricht, gerade für die Entstehung langlebiger, den ganzen östlichen Mittelmeerraum durchschreitender Zyklonen die Ursache bildet.

Es darf aber nicht übersehen werden, daß die Hauptstrombahn F gelegentlich auch von mA-Luft beschritten wird, und zwar unter der Einwirkung der Wetterlage I oder III, die ja beide ebenfalls eine Zyklone über dem Ionischen Meer aufweisen. Wegen dieser verhältnismäßig östlich liegenden Zyklone erfolgt dann auch das Einströmen etwas östlich von der in der eingezeichneten Bahn F liegenden Hauptrichtung, sodaß die Massen etwa Kalabrien in nordsüdlicher Richtung überfluten.

Bei Einbrüchen von mA-Luft ist gewöhnlich die Hauptstrombahn B am stärksten beteiligt. Trifft B aber unter der Einwirkung eines kalabrisch-ionischen Tiefs mit F zusammen, so kreuzen sie sich selbstverständlich nicht, sondern verlaufen unter Vertauschung ihrer Spitzen annähernd parallel.

Es mag zunächst befremdend erscheinen, daß die Hauptstrombahn G nicht auch im Norden der Adria einsetzt, also über Triest

geht. In Anbetracht dieses Vorgehens könnte man sogar von einer gewissen Inkonsequenz sprechen, da selbstverständlich bei den Betrachtungen des vorigen Hauptteiles auch die unter die Hauptstrombahn G fallenden Einbrüche als über Triest und die nördliche Adria gehend gezählt wurden. Doch soll durch diese Verlegung des Stoßzentrums der Kaltluftmassen der Hauptstrombahn G in die Mitte der dalmatinischen Küste angedeutet werden, daß die Luftmassen die dalmatinische Küste in breiter Front vom Norden bei Triest bis zum Süden bei Cattaro von Osten her überschreiten. Der Kaltlufteinbruch bei Triest wird also in diesem Falle zu einer zwar eindrucksvollen, aber doch nun mehr zugeordneten Erscheinung, zumal bei dieser Wetterlage die Stoßrichtung gewöhnlich auch in Richtung der Hauptstrombahn D geht, die hier vergesellschaftet mit der Hauptstrombahn G auftritt.

2. Kapitel.

Der Zusammenhang zwischen Hauptstrombahnen der Kaltluft, Zyklonenbahnen und einer stationären Diskontinuität im westlichen Mittelmeer.

Es liegt nahe, die im vorigen Abschnitt eingeführten Hauptstrombahnen der Kaltluft über dem westlichen Mittelmeer mit anderen die Wettererscheinungen im Mittelmeer zusammenfassenden Vorgängen in Verbindung zu bringen. Hierbei muß man zunächst wieder einmal eine Unterscheidung nach der Ursache der Kaltlufteinbrüche treffen. Man kann nämlich unterscheiden zwischen zyklonalem und antizyklonalem Einströmen der Kaltluft. Mit ersterem werden alle die Kaltluftmengen bezeichnet werden, die auf der Rückseite von Zyklonen ihren Weg nehmen, wobei es gleichgültig ist, ob das Einströmen der kalten Massen durch die schon vorhandene Zyklone verursacht ist, oder ob die Zyklone aus einer vielleicht kleinen Störung gerade durch das Einströmen zu einem bedeutenderen Gebilde verstärkt worden ist.

Diesem Einströmen in Verbindung mit Zyklonen muß ein antizyklonales Einströmen gegenübergestellt werden, bei dem es sich nicht um die Auffüllung oder Verstärkung irgendwelcher Zyklonen durch Kaltluft handelt, sondern bei dem die Kaltluft einfach um eine in Mitteleuropa liegende Antizyklone parallel den Isobaren

herumgeführt wird. Diese letzteren Fälle können sich im wesentlichen nur auf kontinental-arktische Kaltluft beziehen und dem entsprechend nur im Winter auftreten. Sie umfassen aber bestimmt auch sehr starke und bedeutende Einbrüche in den betrachteten Raum. Zu diesen letzteren Typen gehören die Hauptstrombahnen C und G, während alle übrigen mit Ausnahme einiger Fälle von D zu den zyklonalen Hauptstrombahnen gehören.

Kaltluftströmungen, die mit Zyklonen in Verbindung stehen, müssen notwendigerweise auch mit den Wegen dieser Zyklonen Beziehungen aufweisen. Bekanntlich wurden vor einigen Jahrzehnten von van Bebber unmittelbar Zugstraßen von Zyklonen gezeichnet, die die meistbeschrittenen Wege der Tiefdruckgebiete darstellen sollten. Diese Zugstraßen sind naturgemäß ziemlich willkürlich angenommen, soweit ihr Verlauf nicht durch die orographischen Verhältnisse der durchschrittenen Gebiete bedingt ist. Gerade für das Mittelmeer dürfte ein solcher Zusammenhang zwischen Zyklonenbahnen und orographischen Verhältnissen gegeben sein. In Abb. 11 ist eine Karte der Zyklonenbahnen über dem westlichen Mittelmeer wiedergegeben, die im wesentlichen Eredias Lehrbuch der Meteorologie (Lit. 28) entnommen ist und nach den Ausführungen von Weickmann (Lit. 87), der sich allerdings in erster Linie nur mit dem östlichen Teil des hier betrachteten Mittelmeerraumes befaßte, ergänzt wurde.

Über dem westlichen Mittelmeer liegen die Zyklonen der Bahn V der van Bebberschen Benennung. Diese weist einen Zweig Vd auf, der vom Golf von Genua ausgeht, quer über die Poebene oder häufig in der Höhe des 44.° n. Br. über den Ligurischen Apennin in die Obere Adria führt und der dann die Adria entlang nach Südosten und über das Ionische Meer oder den Balkan weiterführt.

Einen weiteren Weg Ve, etwa von dem gleichen Ausgangspunkt im Golf von Genua, an der Tyrrhenischen Küste entlang zur Straße von Messina und südlich an Kreta vorbei nach Palästina hin, hat Weickmann gezeichnet.

Im westlichen Mittelmeer läuft nach der Karte von Eredia ferner eine Zyklonenbahn etwa von der Breite Mittelspaniens südlich der Balearen in die Höhe von Sardinien, um in die Weickmannsche Bahn Ve bzw. in die Bahn Vd zu münden.

Der Vergleich dieser Karte der Zyklonenbahnen mit den hier gegebenen Strombahnen der Kaltluft zeigt die erwartete Ähnlichkeit.

Die Zyklonen auf der zuletzt genannten Bahn, an der Südseite der Balearen, werden offenbar durch Kaltluft von Südspanien her

über Gibraltar auf der Hauptstrombahn A genährt. Solche Zyklonen, die ihren Weg weiter bis zum Golf von Genua finden, werden hier entweder absterben oder, wenn irgendwie Kaltluft bis zur Rhônemündung durch die allgemeine Wetterlage herangeführt worden war, unter Ansaugung dieser Kaltluft regenerieren und die Bahn Ve einschlagen, wobei die Kaltluft auf dem Wege B ihnen den zu ihrem Bestehen erforderlichen Nachschub liefert.

Ein schönes Beispiel für den Weg nördlich um Korsika herum ist das vom 16. bis 23./III. 32 (Abb. 14) und das vom 18. bis 20./X. 32.

Als Beispiele für Kaltlufteinbrüche über Südspanien-Gibraltar, die mit Zyklonenbahnen auf dem geraden Wege von den Balearen über Süd-Sardinien nach Osten verbunden waren, mögen die Tage vom 8. bis 15./XI. 32 und vom 10. bis 18./II. 32 angeführt sein.

Die Zyklonen der Zugstraße Ve werden in ihrem Wege über das Ionische Meer und weiter östlich davon gelegentlich nicht nur durch Kaltluftmassen der Hautstrombahn B, sondern auch durch solche der Hauptstrombahn F aufgefrischt und weiter geleitet.

Zyklonen der Zugstraße Vd konnten in einer sehr großen Zahl von Fällen beobachtet werden. Vom Oktober bis zum April finden sich immer wieder sehr schöne Beispiele, wie Zyklonen die Halbinsel in der Breite von Toskana überschreiten und den Weg durch das Adriatische Meer nehmen. Im Jahre 1932 sind hierfür unter anderem die folgenden Tage anzuführen:

9.—10./I.	4.— 5./X.
9.—11./II.	15.—16./X.
11.—14./IV.	25.—26./X.

Diese Zyklonen sind alle gebildet worden in Abhängigkeit von größeren Zyklonen nördlich der Alpen, wobei ihre Entstehung im Sinne der von Fickerschen Untersuchungen über die Genuazyklone zu denken ist [1]). Die Hauptstrombahn B stellt also die Kaltluftzufuhr für den ersten Teil ihres Weges. Ein zusätzliches Einströmen von Kaltluft in die obere Adria brachte den Zyklonen die notwendigen Bedingungen für ihre weitere Erhaltung. Insofern regenerieren die Hauptstrombahnen D und E die Zyklonen der Zugstraße Vd, und zwar bisweilen die erstere, solange die Zyklonen noch im Golf von Genua liegen, durch Eintropfen von Kaltluft über den Ligurischen Apennin. Die Hauptstrombahn E hat hingegen für die Kaltluft-

[1]) Mit Bezug auf die Depressionsbildung im Mittelmeer in Abhängigkeit von Vorgängen nördlich der Alpen können Schröders Untersuchungen (Lit. 78) zitiert werden, die Fickers grundlegende Arbeiten auf diesem Gebiet bestätigen.

zufuhr im ferneren Verlauf der Zugstraße Vd über der Adria Bedeutung. Notwendigerweise sind die Kaltluftmassen, die besonders auf der Hauptstrombahn D den Zyklonen zugeführt werden können, sowohl wegen der räumlich kleinen Ausdehnung des Valpadana sowie wegen der Notwendigkeit, daß Küstengebirge überwunden werden müssen, verhältnismäßig klein. Dementsprechend sind auch diese Zyklonen nur räumlich wenig ausgedehnte und zeitlich schnell veränderliche Störungen, die erst etwas größere Bedeutung gewinnen, wenn sie auf der Zugstraße Vd ostwärts schreitend von neuem Kaltluft über Triest auf dem Wege E erhalten haben.

Bisher noch nicht erwähnt wurde eine bei Eredia gezeichnete Zyklonenbahn, die von der kleinen Syrte ausgehend nach Malta und dann weiter nach Osten führt. In diesem Falle wird es sich um ausgesprochene „Sciroccotiefs" handeln, die für ihr Fortbestehen die Kaltluft für ihre Rückseite dann der Bahn F oder einer weiter südlich führenden Abweichung der Hauptstrombahn B entnehmen.

Außer den Zyklonenbahnen findet sich im westlichen Mittelmeer als Besonderheit noch eine Diskontinuität, die von Petitjean (Lit. 70) eingehend beschrieben und sogar als „stationäre Diskontinuität" bezeichnet wird.

Sie bildet nach Petitjean eine von Gibraltar aus bis zum nördlichen Tyrrhenischen Meer meist wellenförmig verlaufende Linie, die sich, je nach der Aktivität der beteiligten Massen, bald als Warmfront, bald als Kaltfront zeigt und eine kalte nördliche von einer warmen südlichen Luftmasse scheidet.

Diese Diskontinuität ist in den Weickmannschen Luftdruckkarten (Lit. 87) des westlichen Mittelmeeres deutlich zu erkennen als Ausläufer des Sardinischen Tiefs nach Westen bis Gibraltar. Sie ist in der Abb. 12, die nach Weickmann die Druckverteilung im Januarmittel darstellt, gestrichelt eingetragen. Auch Bergeron (Lit. 10) spricht von dieser Diskontinuität und weist darauf hin, daß an ihr gerade häufig zyklonale Störungen ihren Anfang nehmen.

Es mag darauf hingewiesen werden, daß in diese Diskontinuität auch die Zyklonenbahn hineinfällt, die von dem Raum südlich der Balearen bis in den nördlichen Teil des westlichen Mittelmeeres führt. In der Karte der Hauptstrombahnen der Kaltluftmassen erscheint an dieser Stelle die nur verhältnismäßig selten und im Winter bei antizyklonaler Lage beschrittene Hauptstrombahn G, die für die Aufrechterhaltung dieser Diskontinuität während des ganzen Jahres keine Bedeutung hat. Auch die Hauptstrombahn A, die doch nur verhält-

nismäßig selten aufgesucht wird, kommt wohl kaum zur Erklärung dieser fast stationären Erscheinung in Betracht.

Wichtig ist dagegen die Lage der Diskontinuität zu der weitaus am häufigsten von maritim-arktischer Luft benutzten Hauptstrombahn B. Die Diskontinuität liegt südlich von ihr, und hier muß hervorgehoben werden, daß die Breite der auf das Meer über den Golfe du Lion ausströmenden Kaltluftmassen zwischen Pyrenäen und Alpen meist nur begrenzt ist. Die Kaltluft reicht also nicht aus, um beliebig weit nach Westen von ihrer Hauptstrombahn B den Mittelmeerraum zu erfüllen. Dies ist auch der Grund dafür, daß, während unter dem Eindruck der die Hauptstrombahn B auslösenden oder von ihr verstärkten Zyklone die Kaltluftmassen östlich der Hauptstrombahn scharf ausgeprägte Temperaturstufen und Änderungen der Witterungselemente veranlassen, westlich davon mehr oder weniger ein Verschwimmen und Verlaufen der charakteristischen Anzeichen von Kaltlufteinbrüchen zu beobachten ist.

In der Flanke der nur in beschränkter Frontbreite einströmenden Kaltluftmassen bleiben also, wie man annehmen muß, immer wieder fast ungestört warme Luftmassen liegen. Das ist aber gerade das Gebiet zwischen den Balearen und Sardinien, in dem die Diskontinuität das Zentrum hat, also das Gebiet dicht bei der Konvergenz auf den Weickmannschen Karten.

Es bleibt in diesem Zusammenhange immer noch eine Aufgabe, zu betrachten, ob nicht auch diese von Petitjean für den westlichen Raum des westlichen Mittelmeeres gefundene Diskontinuität auch noch an anderer Stelle auftritt bzw. nach Osten hin fortgesetzt werden könnte. Demgegenüber ist zu sagen, daß natürlich bei dauernder Zufuhr kalter Luft auf der Hauptstrombahn B eine ostwärtige Fortsetzung im Tyrrhenischen Meere nicht denkbar ist. Sie wäre erst dann von Bedeutung, wenn der Zufluß auf der Hauptstrombahn B nicht zu häufig auftritt. Dann würde die Diskontinuität als Grenze zwischen der Warmluft über dem Tyrrhenischen Meer und den mehr örtlich begrenzten Kaltlufteinbrüchen über der Adria westlich der Tyrrhenischen Küste verlaufen, gemäß der Strombahn E, die ja bisweilen auch den Apennin überschreiten kann.

Diese Linie stellt die am weitesten nach Südwesten vorgeschobene der möglichen Diskontinuitäten — Adria, Apennin, bzw. Tyrrhenische Küste — dar und geht über die durch das Adriatische Meer bei häufigen Scirocco-Einbrüchen von Süden her gebildete Luftmassenscheide hinaus. Auch für diese Diskontinuität, westlich der tyrrhenischen Küste entlang, scheint sogar die Karte von Weickmann

(Lit. 87) für den Oktober eine Andeutung zu geben, die ein Konvergenzzentrum über der Straße von Messina aufweist. Sie fällt im Übrigen ebenfalls zusammen mit einer Zyklonenbahn, nämlich der von Weickmann mit Ve bezeichneten Bahn längs des Tyrrhenischen Meeres, die, wie im Vorhergehenden beschrieben wurde, häufig benutzt worden ist. In der Abb. 12, die nach Weickmann die mittlere Luftdruckverteilung im Januar darstellt, ist die Fortsetzung dieser Diskontinuität im Tyrrhenischen Meer punktiert eingezeichnet worden.

3. Kapitel.

Die Kaltlufteinbrüche des Jahres 1932 über dem westlichen Mittelmeer.

Als Beispiel für das Verhalten der Kaltlufteinbrüche in den westlichen Mittelmeerraum während einer längeren Zeit ist das Jahr 1932 ausgewählt worden. Für dieses Jahr ist ein Kalender aufgestellt worden, in dem verzeichnet wurde, an welchen Tagen sich Kaltluft mit bezeichneter Herkunft auf einer der sieben im ersten Kapitel dieses Hauptteiles angeführten Hauptstrombahnen befand [1]). Es wurden dabei nur die Tage gezählt, an denen die Kaltluft an einem Einbruchstor noch einströmend beobachtet wurde. Auf die Angabe von Kaltluft nach Abschnürung ihres Zuflusses wurde also verzichtet. Diese Maßnahme wurde deswegen getroffen, weil Kaltluft ohne Nachschub gerade über dem warmen Mittelmeer bald ihre Bewegungsenergie verliert und dann wetterbildend durch Auffrischen von Zyklonen und ähnliche Vorgänge schon nach ganz kurzer Zeit nicht mehr in Erscheinung treten kann. Es wurde auch durch diese Einschränkung die Statistik sehr erleichtert, wenn nicht überhaupt erst möglich gemacht. Der Kalender gibt durch die bezeichnete Andauer der Kaltluftmasse einer Herkunft über die verschiedenen Tage eine Andeutung für die Tiefe des Kaltlufteinbruchs. Es muß hierbei schon jetzt darauf hingewiesen werden, daß die Kaltlufteinbrüche in der Geschwindigkeit ihres Fortschreitens systematischen Änderungen unterliegen. Während die Kaltlufteinbrüche am ersten Tage und auf dem ersten Teil ihres Weges außerordentlich schnell wandern, indem sie die kalte Rückseite der Zyklonen bilden, nimmt die Geschwindigkeit später mitunter erheblich ab. Dauert der Nachschub auf der betreffenden Haupt-

[1]) s. pag. 105—108.

strombahn auch weiter an, so kann es doch vorkommen, daß die Front des Kaltlufteinbruches wesentlich weniger schnell fortschreitet als an den ersten Tagen. Auch die nachfolgenden Staffeln der Kaltluft zeigen wesentlich weniger deutlich als die primäre Staffel ihr Einsetzen an und schreiten langsamer fort.

Die Abnahme der Geschwindigkeit kann z. T. auf den größeren Raum, der der Kaltluft zur Ausbreitung zur Verfügung steht, zurückgeführt werden, nachdem sie aus ihrem verhältnismäßig engen Einbruchstor und geführt durch die Druckverteilung mit einem zunächst starken Druckgradienten das Mittelmeer erreicht und ihren Anfangsweg zurückgelegt hat. Im selben Maße, in dem die Geschwindigkeit abnimmt, nimmt natürlich auch die Bewegungsenergie der Zyklone und ihr Fortschreiten ab.

Diese Behandlungsweise gilt vorerst nur für die in Verbindung mit Zyklonen stehenden Kaltlufteinbrüche. Für die antizyklonalen Kaltlufteinbrüche läßt sich ein ähnlich einfacher Zusammenhang nicht geben, nur sind solche antizyklonalen Einbrüche gewöhnlich langsamer als die zyklonalen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Andauer eines Kaltlufteinbruches schon über den zweiten Tag hinaus die völlige Durchschreitung der in Abb. 10 gezeichneten Hauptstrombahnen im westlichen Mittelmeer bedeutet. Sind in den nächsten Tagen auch noch Kaltlufteinbrüche auf dieser Hauptstrombahn im Kalender vermerkt, so handelt es sich um spätere Staffeln.

Es muß nun vor allem darauf hingewiesen werden, daß jeder der Kaltlufteinbrüche des Jahres 1932 sich zwanglos einer der beschriebenen Hauptstrombahnen zuordnen ließ.

Es muß weiter erwähnt werden, daß jeder der Kaltlufteinbrüche fortschreitend auf seiner Bahn angetroffen wurde. Also etwa wellenförmige Bewegungen von Kaltluft an den Diskontinuitätslinien der Haupteinbruchstore, wie sie im Winter z. B. zwischen der dalmatinischen Küste und der Adria unbedingt bestehen, wurden nicht als Einbruch kalter Massen anerkannt. Sie hoben sich auch deutlich von den eigentlichen Kaltlufteinbrüchen, d. h. solchen, die eine bestimmte Vorstoßrichtung haben, ab. Es sei hier bemerkt, daß in der Statistik ein ähnlicher Fall auf der Westseite der Alpen, wo bei antizyklonaler Wetterlage eine Luftmassengrenze an der Rhônemündung lag, tatsächlich als Einbruch gezählt worden ist, weil sie doch nennenswerte Temperaturstufen auch noch jenseits der Küste brachte. Die Luftmassengrenze an der Rhônemündung war hierbei wesentlich breiter ausgebildet als gewöhnlich an der Adria.

Noch ein anderer Vorgang ist bei der Anlage des Kalenders gut zum Ausdruck gekommen. Es zeigte sich nämlich, daß die Alpen einen äußerst wirkungsvollen Sperriegel für die Kaltluftmassen bilden. Selbstverständlich hat es trotzdem vielfach Fälle gegeben, in denen die Massen, die nördlich der Alpen und auf dem Alpenkamm noch als Kaltluftmassen erkannt worden waren, auch das Gebirge nach Süden hin überschritten. Dies stimmt durchaus mit der auf Seite 5 angeführten Bemerkung von Fickers überein, der ebenfalls das Überschreiten der Kaltluftmassen über die Alpen beobachtet, aber gleichzeitig auf die Erwärmung der Massen beim Herabsteigen auf der Südseite hinweist.

So hat sich sogar bei der Einleitung der antizyklonalen Kaltluftwetterlage über Mitteleuropa im Oktober 1928 die ausgesprochene Sperrwirkung der Alpen gezeigt (Vergl. Bilancini, Lit. 11). Auch hier brachte die erste Staffel keine nennenswerte Abkühlung. Erst der zweiten gelang es, die alten Luftmassen wegzuräumen und Kaltluft bis in Bodennähe zu bringen. Auch in diesem Falle zeigte sich der Einfluß der Alpen sehr deutlich, der die Luftmassen in zwei Kerne trennte, wie Bilancini mit Temperatur-Änderungskarten feststellte.

Als einer der wenigen Fälle des Jahres 1932, in denen Kaltluft in breiter Front von Norden her die Alpen überschritt und gleichzeitig auf den Hauptstrombahnen B und E und quer zur Apenniu-Halbinsel vorstoßend ihre Eigenschaften als Kaltluft erwies, sei der 31. Oktober 1932 angeführt. Solche Fälle Fälle lagen vornehmlich in den Übergangsjahreszeiten.

Anders hingegen verhalten sich die Kaltluftmassen gegenüber den spanischen Gebirgen. Hier kommt es vor, daß arktische Kaltluftmassen, wenn sie hinreichend hoch sind, auch diese Gebirge überschreiten und dann in breiter Front vom Golfe du Lion bis nach Gibraltar hin einen Kaltlufteinbruch von Westen her in das Mittelmeer tragen. In solchen Fällen trägt die Luftbezeichnung den Zusatz (+).

Über die Bezeichnung mG_T und ihre Eigenschaft als kalte Luft für das Mittelmeerbecken ist schon im 2. Kapitel des II. Hauptteils das Erforderliche gesagt worden.

Der Kalender zeigt weiter, daß Luftmassen der verschiedensten Herkunft auf den verschiedenen Hauptstrombahnen entlang ziehen. Es kommt also nicht darauf an, wo die Kaltluftmassen her gekommen sind, sondern unter welcher Wetterlage sie über das Mittelmeergebiet ziehen. Gleichwohl hängt natürlich, wie ja schon im

1. Kapitel dieses Abschnitts ausgeführt wurde, das Einfallstor einerseits eng mit der Luftmasse und andrerseits mit der Hauptstrombahn zusammen, sodaß die Verbindung zwischen der Hauptstrombahn, die eine Kaltluftmasse einschlagen wird, und deren Herkunft sehr wohl zu ziehen ist.

Auch Überlegungen statistischer Natur in dieser Richtung lassen sich sehr wohl anstellen, bedürfen aber eines längeren Zeitraumes als er durch ein Jahr gegeben ist, und sind daher für spätere Untersuchungen dieser Art vorbehalten.

Der Kalender zeigt besonders schön das gleichzeitige Einströmen von Kaltluftmassen an den verschiedenen Einbruchstoren. Und zwar dies nicht nur, wie eben besprochen, an den Einbruchstoren Gibraltar und Golfe du Lion, sondern gerade auch bei den Einbruchstoren westlich und östlich der Alpen, nämlich Golfe du Lion und Triest. Die im ersten Kapitel dieses Abschnittes angegebenen Zusammenhänge sind hier durch Beispiele belegt.

4. Kapitel.

Der Zusammenhang der Kaltlufteinbrüche westlich und östlich der Alpen mit Mistral und Bora sowie den plötzlichen Adriastörungen.

An dieser Stelle einer Beschreibung der Kaltlufteinbrüche in das westliche Mittelmeerbecken muß natürlich als frühere Literatur dieser Art die große Menge von Schrifttum wenigstens kurz erwähnt werden, das über den Mistral und die Bora erschienen ist, soweit es mit den hier beschriebenen Vorgängen in Zusammenhang steht.

Es muß dabei darauf hingewiesen werden, daß der Mistral eigentlich eine Erscheinung des unteren Rhônelaufes ist, also nicht in das Mittelmeer selber einzugreifen braucht. Demzufolge heißt es auch in der Literatur, daß die Mistralerscheinungen über dem Meere verhältnismäßig bald verschwinden, wenn sie nicht von anderen äußeren Ursachen besonders genährt werden.

Die vorhandene Literatur bezeichnet bald die Straße von Bonifazius zwischen Korsika und Sardinien (O. Mengel, Lit. 64) als Grenze der eigentlichen Mistralerscheinungen, bald spricht sie, wie

Fischer (Lit. 35) und Dersch (Lit. 15) nur an der Küste selbst von Mistral. Sie ist über die Definition des Mistral zu ganz verschiedenen Ergebnissen gelangt. In diesem Zusammenhang sei auf die ältere Literatur hingewiesen, wie Derschs Untersuchungen (Lit. 15), der sich vor allem auch mit den für den Mistral typischen Druckverteilungen beschäftigte, auf Kaßner (Lit. 48) und Knoch (Lit. 51) sowie auf das neuere Schrifttum (Galzi, Lit. 36), (Rougetet, Lit. 75, 76), das in Wedemeyers Abhandlung (Lit. 85) eingehend zusammengefaßt ist.

Die im statistischen Teil festgehaltenen Daten und gezählten Tage mit Kaltlufteinströmen beziehen sich nun keineswegs nur auf die eigentlichen Mistralerscheinungen, sondern umfassen Kaltluftwellen, die das Mittelmeer erreichen, sowie Staffeln und Kaltluftkörper hinter vorbeiziehenden Zyklonen, Vorgänge, in denen selbstverständlich Mistralerscheinungen enthalten sein müssen.

Abkühlungen werden aber auch an den Küstengebieten des Golfe du Lion hervorgerufen, ohne als Mistral angesprochen werden zu müssen, wie auch Wedemeyer (pag. 26) erklärt: „Da der Mistral in den seltensten Fällen allein auftritt, sondern meistens zusammen mit dem Nordwind, der das Tal der Rhône herabweht, habe ich den Einfluß dieser beiden Winde auf die Temperatur untersucht, wobei ich zu dem Ergebnis gekommen bin, daß eine Temperaturerniedrigung weniger durch den Mistral als durch den Nordwind, der aus Mittelfrankreich die kalten Luftmassen nach Süden bringt, hervorgerufen wird."

Diese Abkühlungen reichen, wenn sie in ein günstiges Strömungsbild eingehen, wie wir gesehen haben, oft weit über das vom Mistral betroffene Gebiet hinaus, freilich dann nicht mit so scharfen Erscheinungsformen wie der Mistral, der ja nach Mengel an der Ostküste Korsikas auch nicht mehr vorkommt. Dies wäre also seine Auslöschung in Richtung der Hauptstrombahn B. Andrerseits wird, wie Knoch (Lit. 51) erwähnt, nach den Untersuchungen von Willkomm (Lit. 88), die Nordküste von Menorca häufig von heftigen kalten Nordstürmen heimgesucht, was mit der Hauptstrombahn C in Zusammenhang zu bringen wäre.

Im übrigen läßt sich nach den vorliegenden Beobachtungen sagen, daß für die weiter reichenden Kaltlufteinbrüche nicht allein der hohe Druck im Westen der Rhôneprovinz erforderlich ist, den Gazaud (Lit. 38) für das Zustandekommen des Mistral verlangt. Die kräftigeren und ausgedehnteren Erscheinungen des Kaltluft-

einfließens in das westliche Mittelmeer verlangen doch irgend eine Depressionsbildung über diesem Gebiet, abgesehen von Fällen, wo die Isobaren eines Hochdruckgebietes selbst den Golf etwa von Norden nach Süden durchziehen und das Strömungsbild so schon festgelegt ist.

Bei der Bearbeitung einiger Beispiele von Kaltlufteinströmen in den Golfe du Lion fiel eine Besonderheit auf, die mit lokalen orographischen Verhältnissen, die das Strömungsbild hätten verfälschen können, nicht erklärt werden konnte. Bei kräftigem Kaltlufteinströmen, offenbar Mistralerscheinungen, die auf französischen Karten auch als solche gekennzeichnet waren, zeigte es sich, daß ein Teil der Küstenstationen hohe Windstärken, Beaufort 5—6, angaben, andere aber wieder völlige Kalmen meldeten. Die Erklärung dieser Tatsache fand sich bei einer Beschreibung von Fällen dieser Art durch Wedemeyer (Lit. 85, p. 18), der sich der Meinung von Bénévent anschließt. Dieser bringt als erster (Lit. 5, p. 505) die genannte Erscheinung mit kleinen lokalen barometrischen Depressionen in Verbindung, die auf den synoptischen Karten mit ihren von 5 zu 5 Millibar gezeichneten Isobaren nicht in Erscheinung treten. In diesem Zusammenhang sei auch auf eine Mitteilung von Lemoing hingewiesen (Lit. 60), der die eigenartige Verteilung der Windgeschwindigkeiten während eines Mistral auf Vorbeizug von Wirbeln zurückführt.

Ähnlich wie westlich der Alpen der Mistral vielfach untersucht wurde, wurde auch östlich der Alpen die Bora genannte Einströmungsform kalter Luft häufig bearbeitet. Auch die Bora ist eine Erscheinung, die durch Einbrechen und hier sogar Herabstürzen kalter Luftmassen entsteht. Mit Bora im strengen Sinne ist immer nur der Vorgang des Einbruchs kalter Luft in den Mittelmeerraum an der unmittelbar betroffenen Küstengegend bezeichnet. Später können diese Massen auf einer der Strombahnen D bis G vorrücken, und trotz der Erwärmung auf dem Wege über die Adria vermögen sie beachtliche Temperaturstufen an der italienischen Halbinsel hervorzubringen. Spricht man also von einer Erstreckung der Bora im engeren Sinne nach Süden hin, so ist nicht die Reichweite des Kaltlufteinbruches gemeint, sondern die Erstreckung der Einbruchsfront von Istrien aus nach Süden hin.

Diese Boraerscheinungen im engeren Sinne finden sich (s. Spezialliteratur) an der istrischen und dalmatinischen Küste bis Lesina herab (nach Hann). W. von Keßlitz (Lit. 49) nimmt an, „die Grenze

zwischen Bora und Scirocco ist gewöhnlich das Parallel der Spitze Planca südlich von Rogosnika" (in der Breite von Spalato). Fischer (Lit. 35) gibt auch Lesina als Grenze der Bora nach Süden hin an und macht nähere Angaben über mittlere Temperaturdifferenzen zwischen Land und Meer; sonst geben die Untersuchungen von Mazelle (Lit. 63, p. 231) und Seidl (Lit. 80, p. 232) nähere Auskunft. Hier finden sich auch weitere Literaturangaben, ebenso wie bei den Veröffentlichungen von Bénévent über Bora und Mistral (Lit. 7). Wedemeyer faßt einige Daten aus der bestehenden Literatur in seiner Veröffentlichung (Lit. 85, p. 46, 50, 57, 63) zusammen. Auch Oddone (Lit. 66) gibt Hinweise bezüglich der näheren Boraerscheinungen.

Ein Überwiegen der Kaltlufteinbrüche — wie auch der Bora im engeren Sinne — ist naturgemäß im Winter festzustellen. Ein Grund dafür ist der jährliche Gang der Kaltluftproduktion, denn in der warmen Jahreszeit tritt das ostalpine Hoch nicht als Kaltluftbringer auf. Ferner ist auch die Heranführung maritimer Kaltluftmassen im Sommer nicht sehr häufig, weil die charakteristische Adriadepression verhältnismäßig selten erscheint. Wenn dieser Vorgang trotzdem auftritt, ist er viel mehr lokalisiert und, wie wir gesehen haben, nur von sehr kurzer Dauer.

Eine mehrfache Behandlung in der italienischen Literatur haben von den in Zusammenhang mit dieser Arbeit stehenden Erscheinungen noch die plötzlichen Adriastörungen erfahren, die letzten Endes als eine Folge der eben behandelten Kaltlufteinbrüche angesprochen werden müssen und auch in der Literatur als solche erkannt worden sind. Sie sind offenbar die augenfälligste Folgeerscheinung der Kaltlufteinbrüche östlich der Alpen in den westlichen Mittelmeerraum und können, wie bekannt, der Schiffahrt sehr gefährlich werden. Sie treten besonders im Spätwinter und Frühjahr auf, und in den Monaten Februar und März wurde ein Zusammenhang mit Kaltlufteinfließen in besonderem Maße erkannt (1932). Aber auch im April (in anderen Jahren) scheinen sie noch recht häufig aufzutreten. Wegen ihrer Wichtigkeit sei auf ihre Zusammenhänge mit den Wetterkartentypen und den Hauptstrombahnen noch etwas näher eingegangen.

Diese plötzlichen Adriastörungen werden bei kontinentalen Hochdrucklagen beobachtet, wenn die Kaltluftzufuhr bei Triest kräftig in Erscheinung treten kann, und können auf zwei verschiedene Arten zustande kommen. Sie können einerseits ausgelöst

werden durch Depressionen, die über den ligurischen Apennin von Westen her in die nördliche Adria gelangt sind und nun durch den Kaltlufteinbruch bedeutend aufgefrischt werden. Andrerseits aber kann auch die Zyklone erst durch den kräftigen Einbruch geschaffen werden, etwa bei einer Wetterlage des Typs IV der Druckverteilungen mit einer Antizyklone über Mitteleuropa, die nach Italien übergreift. Und zwar wird das dann der Fall sein, wenn irgendwie über der Adria noch warme sciroccale Massen liegen geblieben sind. So weist Eredia auch bei der Beschreibung des Typs IV der charakteristischen Druckverteilungen auf häufigen Regen an einer Luftmassenscheide hin, die durch kalte Massen nördlichen Ursprunges und warme, subtropischen Ursprunges gebildet wird.

Vor allen anderen Meeresteilen ist die Obere Adria besonders gefährdet, da hier die eigentlichen Boraerscheinungen auftreten und die Massen über die Julischen Alpen und Istrien von Nordosten her auf das Meer treten und zunächst wegen des noch nicht weit nach Süden geschrittenen Kerns der Depression auf den nördlichen Teil beschränkt bleiben. Mit Erreichen der jenseitigen Küste und Weiterrücken des Depressionskerns werden sie dann im Sinne der zyklonalen Strömung als Nord- und auch Nordwestwind die Adria auf der Strombahn E herabströmen. Ein Aufheitern, das langsam von Norden nach Süden fortschreitet, wird bei länger anhaltender Kaltluftzufuhr und Forträumen der noch vorhandenen warmen Massen die Folge sein, wenn die Zyklone abgewandert oder gar abgestorben ist.

Nach den über diese Fälle vorliegenden italienischen Berichten zu schließen, scheint immer im Osten besonders hoher Druck liegen zu müssen, und die Störungen selbst ziehen auch die Adria entlang, ohne nach Osten weiter zu schreiten. Die Strombahn E wird also zwar notwendigerweise im Sinne der Adriazyklone auf jeden Fall bestehen, wird aber bei Anhalten der Kaltluftzufuhr bald einer Strombahn F oder G weichen müssen. Dies würde auch wieder mit der früher gemachten Bemerkung übereinstimmen, nach der die Strombahn E zu den nicht-stationären oder langandauernden Bahnen gehört.

IV. Hauptteil.

Einige charakteristische Beispiele von Kaltluft-Einbrüchen in den westlichen Mittelmeerraum.

1. Kapitel.

Die Auswahl der Beispiele.

Nachdem in den vorhergehenden Teilen möglichst auf alle vorhandenen Kaltlufteinbrüche in den westlichen Mittelmeerraum einzugehen versucht wurde, und so in gewissem Sinne eine statistische Erfassung angestellt wurde, sollen in dem vorliegenden Abschnitt charakteristische Beispiele für das Einbrechen der Luftmassen in den Mittelmeerraum gegeben werden.

Selbstverständlich findet jedes einzelne Einbrechen von kalter Luft unter besonderen, gerade diesem einen Vorgang ausschließlich zugeordneten Verhältnissen statt, wie ja keine Wetterlage einer anderen völlig gleicht. Trotzdem geben sowohl, wie im vorhergehenden Hauptteil ausgeführt ist, die beschränkte Zahl der Einbruchspforten als auch die vielleicht damit zusammenhängende beschränkte Zahl der charakteristischen Wettertypen eigentlich einem jeden Kaltlufteinbruch eine Hauptfortbewegungsrichtung längs einer oder mehrerer der Hauptstrombahnen, die im vorigen Abschnitt eingeführt wurden.

Wegen der Verschiedenheit der Einzelvorgänge hat es kaum Sinn, etwa mittlere Kälteeinbrüche auf einer Hauptstrombahn zu zeichnen. Es mußte hier für die Darstellung der Besonderheiten der Kaltlufteinbrüche auf Beispiele, also auf die einzelnen Vorgänge zurückgegriffen werden. Dabei sind, um eine Vorstellung von den möglichen verschiedenartigen Formen der einzelnen Kaltlufteinbrüche auf einer Hauptstrombahn zu geben, wenigstens für die meistbeschrittenen Bahnen B und F mehrere möglichst verschiedene Beispiele ausgewählt worden. Für andere weniger wichtige Hauptstrombahnen, z. B. die Bahn A, ist nur ein Einzelfall gegeben worden.

Da gewöhnlich, wie im vorigen ausgeführt wurde, mehrere Hauptstrombahnen gleichzeitig auftreten, konnte die Zahl der Beispiele verhältnismäßig klein gehalten werden.

Tatsächlich wurde hier nur ein Einbruch isoliert auf einer Hauptstrombahn behandelt, nämlich der auf der Hauptstrombahn A (9.—10./XI. 32). Durch die Kombinationsmöglichkeiten zwischen den verschiedenen Hauptstrombahnen und die Möglichkeit verschiedener zeitlicher Aufeinanderfolge verschiedener Hauptstrombahnen ergibt sich gleichwohl eine große Mannigfaltigkeit von Kaltlufteinbrüchen, von der die übrigen Beispiele eine Vorstellung geben.

Behandelt wird außer dem schon erwähnten Beispiel ein weiteres für die Hauptstrombahn A, das in Verbindung steht mit einem späteren Kaltlufteinbruch auf der Hauptstrombahn B und anschließend auf der Bahn F (18.—22./III. 32). Weiter wird ein Kaltlufteinbruch gleichzeitig auf den Bahnen B und C beschrieben, der sich von der Rhônemündung fächerförmig ausbreitet und später durch ein Einströmen auf den Bahnen E bzw. F ergänzt wird (11.—14./IV. 32). Schließlich wird ein Beispiel für das Einströmen auf den Bahnen B und E (9. I. 32) gegeben und ein weiteres für das bedeutend seltenere Vorrücken einer Welle kalter Luft von Grönland nach Südosten näher ausgeführt, die über die Alpen und bis weit in das östliche Mittelmeer vorstößt (31./X.—1./XI. 32).

Ostwetterlagen sind durch eine Darstellung der Hauptstrombahnen D und E (10.—12./III. 32) vertreten. Außerdem wurde versucht, eine Darstellung der Woche vom 25. Februar bis 3. März 1932 insgesamt zu geben, in der bei antizyklonaler Wetterlage dauernd Kaltlufteinströmen stattfand und Einbrüche aus dem Osten ihren Weg auf den Hauptstrombahnen D, F und G über die Adria nahmen und auch bisweilen gleichzeitig, am Nordrand der Alpen vorbei in den Golfe du Lion mündeten.

Eine große Schwierigkeit der Darstellung ergab sich aus der Notwendigkeit, gleichzeitig auf möglichst einem Kartenbild mehrere Wetterlagen in irgendeiner Weise zu vereinigen, um eine Anschauung von dem Fortschreiten der Kaltluftmassen und möglichst auch der Druckgebilde zu geben.

Da nicht die Monographie einer einzigen Wetterlage geschrieben werden sollte, wurden Wetterkarten nur soweit es unbedingt erforderlich war, und auch nur zur Darstellung der Wetterlage in der charakteristischen Phase des Einbruches gegeben. Der Einbruch

selbst wurde möglichst durch Zeichnung der Isochronen beschrieben unter gleichzeitiger Einzeichnung des Zentrums der Zyklone, wenn es sich um zyklonale Vorgänge handelte.

Bei antizyklonaler Wetterlage zeigten sich besonders für die Hauptstrombahnen F und G, die den Apennin kreuzen, weitere Schwierigkeiten. Hier wurden die ersten Staffeln, wenn es sich um seichte Massen meist kontinentaler Herkunft handelte, von dem Apennin auf dessen Ostseite aufgehalten und von der Oberfläche des Adriatischen Meeres schnell erwärmt. Häufig wurde dann erst nach längerem Einströmen von Kaltluft der Boden so vorbereitet, daß auch die Kaltluftmassen den Apennin überschreiten und sich weiter auf den genannten Hauptstrombahnen ausbreiten konnten. Die Vorgänge bei dem Einströmen längs F und besonders G setzen also im Wesentlichen eine stationäre antizyklonale, langandauernde Wetterlage voraus. Aus diesem Grunde wurde hier versucht, durch Bearbeitung einer ganzen Woche im Februar 1932 diese Verhältnisse klarer zu erfassen.

Im Übrigen wurde, dem Zweck dieser Untersuchung entsprechend, auf eine weitausholende Schilderung der Wetterlage verzichtet, aber versucht, sie wenigstens z. T. durch die Wetterkarte am Eingang der Behandlung zu ersetzen. Auch bei der ferneren Schilderung des Fortschreitens wurde versucht, möglichst nur stichwortmäßig den Gang des Wettergeschehens zu verfolgen.

2. Kapitel.

Beispiele für Kaltlufteinbrüche vorwiegend aus dem Raum westlich der Alpen.

Der Einbruch vom 9./10. November 1932 auf Hauptstrombahn A.

Kalte Massen strömen durch die Straße von Gibraltar an der afrikanischen Küste entlang nach Osten und beeinflussen, indem sie sich nach Norden wenden, die Westküste der italienischen Halbinsel.

Der Einbruch erfolgte auf der Rückseite einer Zyklone, die in der Nacht zum 9. November Spanien von Westen her überschritten hatte. Sie war am Rande

der atlantischen Antizyklone auf dem Ozean entstanden, gegen Südwest-Spanien vorgerückt und hatte dort einige Tage gelegen. Am Einbruchstage war sie mit der Islandzyklone durch eine Rinne tiefen Druckes verbunden.

Der Weg des Kerns dieser Zyklone vom 9./XI. an ist auf der Karte der Abb. 13 dargestellt. Er lief auf der schon früher erwähnten Zugstraße, die etwa bei Valencia beginnt und im Süden von Sardinien vorbei weiter nach Osten hin verläuft.

Die Abkühlungsisochronen sind ebenfalls in die Karte eingezeichnet worden. Sie zeigen, daß dieses am 8. XI. bei der Straße von Gibraltar beginnende Einströmen von Kaltluft am 9. XI. morgens etwa Oran erreicht und gegen Abend bis nach Algier vordringt, wo es sich mit einer schwachen Temperaturstufe und Unruhe in der Feuchtekurve bemerkbar macht. Die Kaltluft liegt am Morgen des 10. XI. westlich von Bizerta und bringt dem ganzen Küstenland von Algier Niederschlag. Die Karte zeigt, daß die Geschwindigkeit der Isochronen auf ihrem Wege nach Osten zunächst recht gering war. Erst in Ostalgerien erreichte sie 500 Km/12 Stunden. Die Temperaturdifferenz gegen den Vortag betrug an der Küste etwa 2^0.

Die Massen erfüllen nun den Raum bis etwa 40^0 n. Br. hinauf, also bis in die Höhe der Balearen. Eine zweite Staffel nimmt einen ähnlichen, jedoch etwas mehr nach Norden reichenden Verlauf.

Im Laufe des 10./XI. werden die Massen der ersten Staffel, wie aus dem Strömungsbild ersichtlich ist, in das Tyrrhenische Meer verfrachtet und erreichen am Abend etwa die westliche Apenninküste, wobei Sizilien im Durchschnitt 2^0 Abkühlung bei gleichbleibender Feuchtigkeit beobachtet. Nb- und Cnb-Gewölk zeigt an der Tyrrhenischen Küste das Eintreffen der Massen, die sich von Südwesten her unter eine warme Sciroccoströmung geschoben haben. Capodichino (Neapel) hat um 19 Uhr Cnb bei einem unteren Wolkenniveau von 1,0 km. Mittags und abends ist in der Höhe über Palermo der Südwest erkenntlich bis in die Beobachtungshöhe von 1200 m, in der die untere Wolkengrenze liegt. Am Abend hat der Lido di Roma 10/10 Nb mit einer unteren Wolkengrenze von 400 m. Das Meer ist entsprechend bewegt.

Die betrachteten Kaltluftstaffeln werden im Tyrrhenischen Meer bald recht stark geheizt, und wenn auch in der Zeit bis zum 11. XI. morgens und noch darüber hinaus ganz Italien von Niederschlägen betroffen wurde, so ist doch von keiner bestimmten Front mehr zu sprechen. Die Erwärmung der Massen auf dem Wege von Westalgerien bis nach Algier läßt sich wegen widersprechender Daten nicht bestimmen. Von Algier bis zur italienischen Apenninküste wurden die Massen um 3—4^0 geheizt. Kräftig machte sich auch der Temperaturgegensatz in dem Raum Tunis-Malta bemerkbar, wo die kalten Massen von Westen her gegen die vorher hier herrschende Sciroccoströmung einbrachen und dann erst nach Norden in Richtung auf Süditalien abgelenkt wurden. Sie folgten dabei der Einwirkung der nun nicht mehr weiter wandernden Zyklone und füllten sie auf.

Später gewinnen Massen, die auf der Hauptstrombahn F einbrechen, neuen Einfluß auf das Wettergeschehen im Tyrrhenischen Meer.

Der Einbruch vom 18./22. März 1932 auf den Hauptstrombahnen A, B und F.

Mit Beginn der zweiten Märzhälfte gewinnt in der Großwetterlage ein von Westen kommendes europäisches Hoch immer mehr an Ausdehnung und beherrscht bald die Gesamtwetterlage nördlich der Alpen bis weit nach Rußland hinein. Kaltlufteinbrüche verschiedenster Art finden auf verschiedenen Wegen Eingang in das Mittelmeerbecken, das so ganz von Kaltluft erfüllt wird, bis Ende des Monats die Antizyklone von einem mächtigen Islandtief, das nach Osten vorschreitet, abgebaut wird.

Die ersten Abkühlungen im westlichen Mittelmeer erfolgen auf der Hauptstrombahn A in der Zeit vom 16./19. III. durch mG_A-Massen, die aus Richtung Grönland auf der Rückseite eines nördlich der Azoren gelegenen Tiefs nach Süden verfrachtet wurden. Sie bilden die Kaltfront eines südspanischen Tiefs, die im Laufe des 16./III. Gibraltar überschritten hat. Wie die Abb. 14 zeigt, begleiten die Abkühlungsisochronen das Tief auf der Südseite durch das westliche Mittelmeer. An ihrer Vorderseite strömt afrikanische Warmluft nach Norden. Die Wanderungsgeschwindigkeit des Zyklonenkernes ist am 16. und 17./III. im Balearenraum größer (1200 km/48 Std.) als am 18./III. in der Gegend von Korsika. Bei der Weiterwanderung in Richtung auf Messina nimmt die Geschwindigkeit dann wieder zu. Die Kaltfront selber, die sich am 16./III. in Südspanien mit Regen bemerkbar macht, hat eine dem Zyklonenkern zunächst entsprechende Geschwindigkeit. Sie reicht vom Tiefdruckkern bis zur afrikanischen Küste. Am Apenninhang macht sich die Front mit Regen und Cnb-Gewölk am Abend des 18./III. bemerkbar, ohne aber im wesentlichen das Gebirge zu überschreiten. Vielmehr zieht sie sich in den Bogen des südlichen Tyrrhenischen Meeres hinein und bleibt hier während des ganzen 19./III. stationär.

Die Richtungsänderung der Wanderung des Zyklonenkernes wird anscheinend bewirkt durch einen neuen Kaltlufteinbruch am **18./III.** aus dem Golfe du Lion auf der Hauptstrombahn B, an dessen nordöstlicher Seite der Tiefdruckkern nunmehr auf der Zugstraße Ve entlangwandert. Der Augenblick des Einbruchs dieser neuen Kaltluftmassen ist in der Wetterkarte der Abb. 15 festgehalten, die die Lage vom 18./III. 8 Uhr wiedergibt. Auf ihr ist, um einmal ein Beispiel für den Weg einer Kaltluftmasse aus Nordeuropa bis zum Golfe du Lion zu geben, punktiert diese frühere Bahn der Kaltluftmasse während der 2 vorangehenden Tage festgehalten. Hierdurch erübrigt sich, unter Hinweis auf das für den 18./III. wiedergegebene Kartenbild eine weitere Erläuterung der Herkunft und des Herkunftsweges dieser Luftmassen.

Der Zustrom der frischen arktischen Luftmassen macht sich mit Regen an der französischen Riviera und Abkühlung von 3° C in Marseille (abends

5° C) bemerkbar. Der Druck beginnt in Marignane bereits in den frühen Morgenstunden des 18. III. zu steigen, und der Temperaturfall im Morgentermin beträgt gegen den Vortag 5° C.

Diese zweite, auch auf Abb. 14 mit II bezeichnete Kaltfront reicht abends von dem etwa über Korsika liegenden Zyklonenkern nach Süden bis zur algerischen Küste. In der Nacht ist sie über Sardinien fortgeschritten und liegt am 19. III. morgens im Tyrrhenischen Meer nördlich von Bizerta (s. Karte).

Die Geschwindigkeit des Vorrückens der Isochronen betrug also etwa 700 km in 24 Stunden. Die Massen breiten sich, dem Tief folgend, nach Südosten aus, überschreiten aber nicht den Apennin. Vielmehr schmiegt sich die Isochrone wieder der Küstenlinie an. Während Bizerta schon am Vormittag des 19. III. erreicht wurde, überschreiten die Massen Messina in der folgenden Nacht. Ein Tief über der Tripolitanischen See, das von sciroccalen Massen genährt wird, läßt am 19. III. abends die Kaltluftmassen im rechten Teil ihrer Front schneller wandern, während es gleichzeitig das früher erwähnte Stationärwerden der ersten Staffel veranlaßt. Von hier ab überlagert sich die Abkühlungsfront der schon vorhandenen und schon vorher beschriebenen.

Am **19. III.** hält der Kaltluftzustrom durch den Golfe du Lion weiter an mit abnehmender relativer Feuchte und Abkühlungen von 5° C in Perpignan und 4° C in Marseille.

Am 19. III. greift das auf der Karte vom 18. III. sichtbare Hoch über Großbritannien nach Osten bis in den nördlichen Balkan über. Mit ihm gewinnt auch das gekräftigte ostatlantische Hochdruckgebiet wieder mehr Aktivität. Andrerseits erscheint nunmehr die Mittelmeerzyklone geteilt mit einem verflachten Kern über dem oberen Tyrrhenischen Meer und einem anderen schon erwähnten Kern, der von afrikanischer Warmluft genährt wird und über der Tripolitanischen See liegt. Am Abend ist schon die Vereinigung beider Kerne weit vorgeschritten, wobei der erstere im Absterben begriffen ist. Der südliche Kern hingegen verlagert sich nach Norden, und die Zyklone erscheint bald wieder geschlossen über dem Ionischen Meer. Am Abend hat die erste der Staffeln Tripolis überschritten.

Am 19. III. früh setzt nun an der dalmatinischen Küste unter Fallwinderscheinungen ein neuer Einbruch von arktischen Massen ein, die über Polen und Ungarn gekommen waren (Fiume 5°, Triest 4° C Abkühlung). Der Einbruch hält auch am Abend an und bringt bedeutenden Feuchterückgang (bis 50% Abnahme gegenüber dem Vortage). Die Massen, die die Adria überströmen, reichern sich so mit Feuchtigkeit an, daß die relative Feuchte an der italienischen Küste keine Abnahme gegen den Vortag zeigt, doch bringen sie beträchtliche Abkühlung.

Die Massen überschreiten den Apennin und lassen in Florenz, auf der westlichen Hangseite, die Temperatur um 5° C zurückgehen und auch die Feuchte abnehmen. Perugia meldet mit Cnb und Regen 6° C Abkühlung gegen den Termin des Vortages.

Diese eben betrachteten Massen bilden eine weitere dritte Staffel neuer Herkunft, die auf der Hauptstrombahn F vordringt und gegen die Zyklone strömt, die mit ihrem einen absterbenden Kern am Abend des 19. III., wie schon erwähnt, über der Straße von Messina liegt.

Am **20. III.** hält auch das Einströmen von Osten her weiter an, das sich mit Abkühlungen dem Ionischen Meer zuwendet.

Die Massen, die über den Golfe du Lion einströmen, zeichnen sich durch besondere Trockenheit aus, was sich bis Sassari bemerkbar macht. Sie nehmen eine etwas südlichere Bahn, entsprechend den Ausführungen auf pag. 31. Die verhältnismäßig hohe Trockenheit in Rom geht auf die aus Osten gekommenen Massen zurück, die bei Überschreiten des Apennin austrockneten. Es ist in diesen Tagen nicht von einer ausgesprochenen Kaltluft oder einheitlichen Abkühlungslinie zu sprechen, sondern nur von einem Südostwärtsfließen kalter Luft aus den beiden Haupteinbruchsgebieten im Sinne der jetzt über dem Ionischen Meer liegenden Zyklone.

Um das Bild der Kaltluftvorstöße nicht zu verwischen, wurde von der Eintragung der weiteren Einbruchslinien auf der Hauptstrombahn F in die Karte abgesehen.

Am Abend vermindert sich zeitweilig das Einströmen in den Golfe du Lion.

Die Front der auf der Hauptstrombahn B eingeströmten Kaltluftmassen liegt in der Nacht zum 20. III. über Sizilien und überschreitet früh morgens den Ostrand dieser Insel. Um 8 Uhr liegen die beiden Staffeln nur noch undeutlich getrennt östlich davon. Das Zentrum der Zyklone liegt am gleichen Morgen östlich Catania.

Einen weiteren neuen Antrieb erhält die zyklonale Tätigkeit durch einen Kaltlufteinbruch, der vielleicht schon am 20. III. abends, vor allem aber vom 21. III. ab auch weiter an der südlichen dalmatinischen Küste bis in die Bucht von Cattaro in den Mittelmeerraum auf der Hauptstrombahn F einbrach. Am westlichen Schwarzen Meer war nämlich von Osten her eine starke Abkühlung gegen den Balkan vorgerückt und hatte den Westrand im Laufe des 20. III. erreicht. Nb- und Cnb-Gewölk mit starken Schauern scheint schon am Abend des 20. III. diese neue vierte Einbruchsfront im Bogen von Tarent anzuzeigen. So ergibt sich am **21./III. morgens** die folgende Lage: Die Zyklone liegt mit ihrem Kern bedeutend vertieft zwischen dem Golf von Tarent und Griechenland (1000 mb) und beherrscht das ganze Strömungsbild des Mittelmeeres. Erkennbar sind an ihr die folgenden Fronten:

I und II, die sich, da sie Sciroccoluft vor sich haben, immer noch deutlich auf der Wetterkarte abheben, verlaufen vom Zyklonenkern südwärts bis nach Bengasi, wo am Morgen des 21./III. die Temperatur auf 12^0 von 21^0 am Vortage herunterging und auch die Feuchte abnahm. Die Kaltluftstaffel III, die von dem ersten Einbruch auf der Hauptstrombahn F von Triest ausging, liegt auf der Linie Malta — östlich Sizilien, und die Staffel IV liegt auf einer östlich der Hauptstrombahn F laufenden Parallelbahn auf einer Front vom Zyklonenzentrum über Tarent bis in die Nähe von Neapel. Sowohl auf Malta wie in Neapel wird Regen gemeldet. Die Höhen des südlichen Apennin haben Schneefall.

Die Massen, die weiter bei Marseille und Perpignan einströmen, zeichnen sich durch besonders geringe relative Feuchte aus, sind aber schon wärmer als am Vortage. Sie nehmen auf die zyklonale Tätigkeit im Mittelmeer keinen Einfluß mehr. Im Strömungsgebiet des Ionischen Tiefs, das die Wetterlage als Typ V der Druckverteilungen bestimmt, finden sich in der Höhe über ganz Italien starke bis sehr starke NE-Winde. Am Abend brechen über der südlichen Adria wieder kontinentale Kaltluftmassen herein, die schon im nördlichen Balkan Schneefälle verursacht hatten, und bringen Süditalien weiter Abkühlung, aber kaum Rückgang der relativen Feuchte.

Am **22./III.** hält das bestehende Strömungsbild an, es findet sich aber kein

weiterer Temperaturrückgang durch neue Kaltluftmassen. Die Zyklone liegt mit ihrem Zentrum über Cephalonia und beherrscht mit ihren Störungen das südliche Italien, während der nördliche Teil der Halbinsel nur im Windbild mit einbezogen wird.

Die Abkühlungsisochrone selbst ist mit kräftigen Temperaturstufen bis Alexandrien vorgeschritten. Mersa hat 6°, Sollum 5° Abkühlung. Kreta meldet gegen den Vortag 5° Abkühlung und Niederschlag. Die relativen Feuchten in Tripolis und Bengasi sind gering, die Anreicherung über dem Meere hat nicht ausgereicht, diesen Massen, die langsam erwärmt wurden und sich vorher abgeregnet hatten, eine größere relative Feuchte als 55% zu verschaffen.

In den vier Tagen vom ersten Eintreffen der Kaltluft bei Gibraltar am 16./III. bis zum 20./III. ist das ganze westliche Mittelmeer mit Kaltluft angefüllt worden. Am 23. haben die Massen das ganze Mittelmeer durchflutet.

Weiteres Einströmen von Kaltluft mit recht starker Abkühlung hält über der Adria an, nimmt aber den Charakter eines gesondert zu betrachtenden Einbruchs an, der die über Griechenland liegende Zyklone weiter erhält.

Es dürfte noch interessieren, einiges über die Erwärmung der untersten Schichten der Kaltluftmassen über dem Meere zu erfahren. Es sollen deshalb wenigstens für die Hauptstrombahn B, wo sich die Daten noch verhältnismäßig klar feststellen ließen, die Erwärmungen schematisch aufgeführt werden.

In den 24 Stunden vom 18./III. bis 19./III. erwärmten sich die untersten Schichten auf dem Wege Golfe du Lion — Cap Bone von etwa 9° C auf etwa 12° C, d. h. in 24 Stunden um 3°.

Ferner wurden bei Durchzug der kalten Luftmassen vom Golfe du Lion bis in das östliche Mittelmeer folgende Temperaturen festgestellt:

19./III.	morgens	Golfe du Lion	6° C
20.	„	Westsizilien	10° C
21.	„	Bizerta	12° C
22.	„	Mersa	14° C,

also die Massen erwärmten sich über dem Mittelmeer

in den ersten 24 Stunden um 4°
im Laufe von 48 Stunden um 6°
und im Laufe von 72 Stunden um 8°.

Der Einbruch vom 11.—14. April 1932 auf den Hauptstrombahnen B und C.

Durch eine besondere Druckverteilung wird bei einem Einbruch maritimer Kaltluftmassen auf der Hauptstrombahn B eine ausgesprochene Keilform der Abkühlungsisochronen verursacht, die mit einem Divergieren der Massen auf den Hauptstrombahnen B und C zusammenfällt. Unter Mitwirkung von weiteren Staffeln werden die Massen bis in die Tripolitanische See befördert.

Bei Beginn des Einbruchs herrschte eine dem Typ X der Druckverteilungen entsprechende Wetterlage. Ein kräftiges Tief lag über Skandinavien und ein schwächeres über dem nordwestlichen Mittelmeer. Im Ionischen Meer bestand verhältnismäßig hoher Druck.

Am **11./IV.** bringt eine maritim-subpolare Kaltluftstaffel über Mittelfrankreich mit Nordwestwinden Abkühlung bis zu 5° gegenüber dem Vortage. Um 14 Uhr liegt die Front bei Perpignan. In Mittel- und Südfrankreich treten hierbei 5°—10° Abkühlung gegen den Vortag auf, zugleich sinkt die relative Feuchte in Marignane von 65% auf 25%. Um 19 Uhr liegt die Front entsprechend der Karte in Abb. 17 bereits südlich des Golfe du Lion, verläuft gegen die Bucht von Genua und schließt das westliche Potal ein. Hier allerdings bestehen nur geringe Abkühlungen und kein Rückgang der relativen Feuchte. Wohl aber wird Niederschlag aus Cnb und Nb beobachtet.

In der Nacht zum **12./IV.** schreitet die Front weiter in Form eines stumpfen Keiles über das Mittelmeer vorwärts und liegt um 8 Uhr früh längs des Nordhanges des Atlasgebirges bis Bizerta, von wo aus sie weiter in Richtung zur Tibermündung verläuft. Die Front, die Druckverhältnisse und die Stromlinien sind aus dem Kartenbild der Abbildung 16 zu ersehen. Die Abkühlungen an der afrikanischen Küste betrugen 1—3° und in Sardinien 2—4°. In Nordsardinien findet auch Rückgang der relativen Feuchte statt. Auf der Ostseite der Front dringt afrikanische Warmluft, wie aus Abb. 16 hervorgeht, in Form von Scirocco bis in die nördliche Adria. Die Druckverteilung der Abb. 16 erklärt ohne weitere Auseinandersetzung die Ursache für das fächerförmige Ausbreiten der Luftmassen nach dem Einströmen in den Golfe du Lion.

Der Tiefdruckkern, der am 12./IV. um 8 Uhr über der nördlichen Adria liegt, wandert auf der Zugstraße Vd die Adria entlang, wie es in Abb. 17 gezeichnet ist, und wird von der rückwärts anschließenden Front begleitet, die im Ganzen von SSW nach NNE verläuft.
Das Einströmen der Kaltluft findet auf den Hauptstrombahnen B und C statt. Die Windgeschwindigkeiten sind beträchtlich, verlaufen aber nicht senkrecht zur Front, sodaß die Fortbewegung der Front verhältnismäßig klein bleibt.

Die Abkühlung beträgt in Bizerta 6° gegen den Vortag, an dem noch Scirocco luft dort lag. In Neapel werden 4° Abkühlung gemessen. Die Temperaturerhöhung der Luftmassen in den 24 Stunden des Weges vom Golfe du Lion bis zur Straße von Tunis betrug 3°.

In der Nacht zum **13./IV.** wird Sizilien überschritten. Um 8 Uhr früh liegt die Front östlich von Malta und Tripolis. Am gleichen Tage beginnt auch auf der Hauptstrombahn E ein Einbruch kalter Luft, der die Zyklone unmittelbar versorgt.

Am **14./IV.** 8 Uhr liegt die Zyklone mit ihrem Zentrum über der Straße von Otranto. Die Kaltluft auf der Hauptstrombahn B hat bereits Bengasi überschritten, doch befindet sich die Front in Auflösung.

Eine zweite Staffel dieser Kaltlufteinbrüche, diesmal maritim-arktischer Herkunft, erreichte in den frühen Morgenstunden des 12./IV. den Golfe du Lion und bewegte sich in etwas gestreckterer Form wieder auf den Hauptstrombahnen B und C.
Um 19 Uhr des gleichen Tages (12./IV.) wird von dieser Front auf der Hauptstrombahn B Tunis und vermutlich auch Rom passiert. Dann verschmilzt diese Staffel mit der ersten.

Am 13./IV. fließen noch weitere Staffeln über Frankreich nach, doch sinken die maritim-arktischen Massen über Mitteleuropa langsam ab und erwärmen sich dabei. Die Wetterlage führt nun in Mitteleuropa stabile tropische Massen an die Stelle der arktischen Luft, sodaß der Kaltluftstrom abgeriegelt wird. Diese letzte Staffel dieser Einbruchsserie lag am 13./IV. mittags im Golfe du Lion und am 14./IV. morgens bei Malta und Kalabrien. Hinter dieser Front lagen aber nur z. T. Massen, die auf der Bahn B gekommen sind. In ihrem nördlichen Teil waren es auch Massen, die über die Adria aus Osten gekommen sind, den Apennin von Osten her überschritten und sich auf der Hauptstrombahn F fortbewegt haben, wie ganz eindeutig aus Pilotballonaufstiegen hervorgeht.

Die Geschwindigkeit der Abkühlungsisochronen betrug bei der ersten Staffel in den ersten 12 Stunden im Mittelmeer in der Hauptfortpflanzungsrichtung 500 km/12 Std. 24 Stunden brauchten die Massen, um von der Rhônemündung nach Tunis zu gelangen. Danach nimmt die Geschwindigket ab, und die Isochrone legt in den folgenden 48 Stunden nur etwa 1200 km zurück.

Die zweite Staffel, maritim-arktische Luft, bricht mit größeren Geschwindigkeiten ein und erreicht auch Tunis in kürzerer Zeit.

Es sei anläßlich dieses Kaltlufteinbruches auf ein Thetagramm (Äquivalentpotentielle Temperaturen) hingewiesen, das aus dem Aufstieg von Vigna di Valle bei Rom abgeleitet werden konnte.

In dem Aufstieg von **Vigna di Valle** am 13./IV. 11 Uhr sind, wie in der Abb. 24 veranschaulicht wurde, die kalten Massen bis 3000 m recht gut zu erkennen. Es sind Massen arktischer Herkunft, die aber, in großem Bogen über den Ozean nach Westen greifend, in das Mittelmeer gelangt waren. Aus diesem Grunde und wegen des schon auf ihrem Wege erfolgten Absinkens sind die äquipotentiellen Temperaturen verhältnismäßig hoch. Θ' liegt bei 15°. Der thermische Gradient der wahren Temperaturen liegt in dieser Schicht bei 0,88—1,0°/100 m. Die Höhenwinde entsprechen der Wetterlage.

Über dieser eben betrachteten Kaltluft ist eine recht dicke Übergangsschicht bis in die Höhe von 4500 m zu erkennen, in der der thermische Gradient abnimmt. Die relativen Feuchten bleiben bis in große Höhen bei 50%. Eine Bodenüberhitzungsschicht ist in dem Diagramm unverkennbar.

Der Einbruch vom 9. Januar 1932 auf den Hauptstrombahnen B und E.

Dieser Einbruch maritim-subpolarer Kaltluftmassen auf der Hauptstrombahn B, der nur verhältnismäßig kurze Zeit anhält, wird später durch das Einfließen der Massen gleichen Ursprungs in die Obere Adria auf der Hauptstrombahn E ergänzt.

Eine mächtige Zyklone, die über Skandinavien bis nach Nordrußland zog, bildete eine Resonanzstörung südlich der Alpen im Sinne der Fickerschen Druckwellenuntersuchungen. Am 8. I. ragt von Nordosten her als Ausläufer der Zy-

klone ein Sack tiefen Druckes in das südliche Alpenvorland. Über Nordafrika herrscht hoher Druck, und ein Keil führt über Spanien nach Nordosten bis nach Mitteleuropa hinein. Am Morgen des 9. I. haben sich die oberitalienischen Störungen zu zwei Teilkernen über dem Golf von Genua und über Istrien herausgebildet, wie aus der Abb. 18 ersichtlich ist.

Die am 7. I. westlich Irland gelegene maritim-subpolare Kaltluft rückt am 8. I. bis in die Biscaya vor und hat um 8 Uhr die französische Küste erreicht. Alte maritim-polare Massen hinter einer stationär gewordenen Front, die allmählich den Charakter des Bodens annehmen, liegen noch über Frankreich. Zwei weitere Staffeln hinter dem mächtigen Tief, das jetzt bei Finnland liegt, brechen nach Mitteleuropa herein. Der Hamburger Aufstieg zeigt, daß die Massen in der Höhe recht kalt und trocken sind. Im Laufe des späten Abends gelangt diese frische Kaltluft in den Bereich der uncharakteristischen über Frankreich liegenden Luft, die durch Ausstrahlung kalt gehalten wurde. Durch die Herausbildung der oberitalienischen Tiefdruckkerne und das Ansaugen über den Golfe du Lion erhält die über Spanien bereits in das Mittelmeer gekommene, aber recht inaktiv gewordene Kaltluft neuen Bewegungsantrieb und Ersatz.

Am Morgen des **9. I.** liegen die Massen, die nachts die Küste überschritten, im Golfe du Lion. In der Abb. 18 ist ihre Front eingezeichnet worden. Sie haben bis nach Mahon hin Temperaturfall und beträchtlichen Feuchterückgang mit unmittelbar danach einsetzendem Druckanstieg gebracht. Während der Zustrom in den Golfe du Lion am ganzen Tage noch anhält mit Temperaturstufen von etwa 4° gegenüber dem Vortag, liegt die Isochrone um 14 Uhr auf der Linie Livorno-Sassari in Richtung auf Algier und hat Korsika und auch schon z. T. Sardinien überschritten.

Die Hauptvorstoßrichtung der kalten Luftmassen ist, wie aus der Abb. 19 klar ersichtlich, die Hauptstrombahn B. Der hohe Druck über Spanien begrenzt nach Westen hin das Einströmungsgebiet der Kaltluft. Außerdem wird die rechte Flanke der Kaltluftfront in dem Gebiet zwischen den Balearen und Sardinien am Vormittag des 9. I. von der indifferenten Luft gebildet, die, wie gesagt, am Vortage schon z. T. über Frankreich lag. Die Front ist also in diesem Gebiet nur verhältnismäßig undeutlich zu erkennen und verschwindet mit Annäherung an die Küste Spaniens.

Genua wurde um 14 Uhr noch nicht erreicht, obwohl sonst die Front schon darüber hinaus vorgeschritten war, wie wieder aus der Abb. 19 ersichtlich ist. Hier macht sich bei dem beobachteten Südwind ein gewisser Stauеffekt bemerkbar, bei dem die alte Luft von der frischen gegen die Ligurischen Küstenhänge gedrückt wird. Die Kaltluftmassen bewegen sich weiter auf der Hauptstrombahn B gegen das Tyrrhenische Meer und erreichen Rom am Abend. Windsprung, Temperaturabnahme (um 4° gegen Vortag), Feuchterückgang und Sichtzunahme sind gut erkennbar. In Neapel, in dessen Umgebung zwar Regen gemeldet wird, scheint die Kaltluft erst nach 19 Uhr eingetroffen zu sein. Was die afrikanische Küste und insbesondere Algier betrifft, so müssen die Massen Algier schon in den Nachmittagsstunden erreicht haben, wenn sie auch recht schwer zu erkennen sind. Dies spräche auch für eine gleichmäßige Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Front an allen Teilen und wäre der Wirkung des hohen Druckes über Spanien zuzuschreiben. So zeigt die Temperaturkurve in Algier am Nachmittag einen steileren Abfall und in der Nacht zum 10. I. allerdings einen weiteren Rückgang bis 0° C, wobei aber auch Ausstrahlung mit-

spielen wird. Auch die bis zum 9. I. mittags stark angestiegene relative Feuchte erfährt um 15 Uhr einen plötzlichen Rückgang, um dann aber bald wieder anzusteigen.

Bizerta wird erst in der Nacht erreicht, jedoch ohne scharf ausgeprägte Beobachtungsdaten; Sizilien wird gleichfalls in der Nacht überflutet. Bei der Morgenbeobachtung des 10. I. läßt sich auf der ganzen Front der Windsprung und die Temperaturabnahme klar feststellen. Die Sicht nahm zu, jedoch wurde ein Feuchterückgang nicht mehr beobachtet. Morgens ist die Windrichtung über Sizilien einheitlich Nordwest, entsprechend den Isobaren. Werte über 1000 m (Palermo), wo ebenfalls noch Nordwest gemeldet wird, liegen nicht vor.

Der Durchgang der Front durch Malta verzeichnet keinen Rückgang der Temperatur mehr, sondern ist nur an dem Windsprung und am Niederschlagsbild zu erkennen, während über Sizilien noch Temperaturstufen von 1 bis 2° gegen den Vortag beobachtet wurden.

Südlich von Malta lag am 10. I. eine Warmluftmasse in der Flanke der ostwärts vorstoßenden Kaltluft, die unter dem Einfluß eines über dem südlichen Algier liegenden Hochdruckkerns sich in schwacher östlicher Bewegung befand.

Es mag hier zusammenfassend noch etwas über den Verlauf der Isochronen gesagt werden. Die Isochronen, die im ganzen Tyrrhenischen Meer eine klare Richtung von Nordost nach Südwest zeigen und sich ganz parallel zu sich selbst auf der Hauptstrombahn B verschieben, erfahren an der Apenninküste einen scharfen Knick nach Nordwesten. Sie schmiegen sich also wieder dem orographischen Bilde an.

Was die Geschwindigkeit anbetrifft, so betrug sie bei der Front des Kaltluftvorstoßes auf der Hauptstrombahn B 950 km/24 Std. Dies entspricht 38 km/Std. oder etwa 5,9 Beauforteinheiten. Die gemessenen Windgeschwindigkeiten betrugen 3 Beauforteinheiten. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit war also doppelt so groß wie die des gemessenen Bodenwindes.

Die Erwärmung der Massen auf ihrem Wege von der Rhônemündung bis nach Sizilien betrug in den 24 Stunden etwa 4°—5°.

Der Kaltlufteinbruch wurde, wie schon gesagt, von der Genuazyklone am 9. I. ausgelöst. Dieser Kern löste sich aber bald auf, und an seiner Stelle übernahm der über der Adria längs der Zugstraße Vd wandernde östliche Zyklonenkern die Führung der Kaltluftmassen auf der Hauptstrombahn B nach Süden. Er lag am 10. I. morgens über Albanien und löste sich dann auf. Auch die Kaltfront konnte über diesen Zeitpunkt hinaus östlich von Malta nicht weiter verfolgt werden.

Dieses Tief löste, wie auch schon gesagt wurde, auch ein Einströmen von Kaltluft auf der Hauptstrombahn E aus. Dieses Einströmen erhält offenbar die Zyklone. Es wird am 10. I. morgens besonders über der jugoslavischen Küste recht heftig und bringt östlich des Apennin starke Abkühlung. Auch diese Kaltluftmassen sind nördlich um die Alpen herumgeführte mG_A-Massen. Sie strömen weiter in südöstlicher Richtung und überschreiten auch zum Teil den Apennin, wobei sie auch dem westlichen Hange noch Temperaturerniedrigung bringen und besonders den südlichen Teil des Gebirges außer seinem ganzen Osthang stören und Niederschlag hervorrufen.

Der Einbruch vom 31. Oktober bis 1. November 1932.

In Verbindung mit einem Sturmtief, das von Island gegen Kleinasien vorstößt, überfluten maritim-arktische Massen in breiter Front das Mittelmeer.

Der Oktober 1932 brachte dem westlichen Mittelmeer eine Reihe von Kaltlufteinbrüchen, die durch sich ablösende und ineinander greifende Störungen hervorgerufen wurden. Schon am 30. X. hatte eine beachtliche Staffel als Kaltfront zu einer über England liegenden Zyklone den Golfe du Lion erreicht und unter der Wirkung eines bei Genua gebildeten Teiltiefs, das im Laufe des 30. X. schnell auf der Zugstraße Vd über den Apennin und die Adria zog, am folgenden Tage das Tyrrhenische Meer durcheilt. Am 1. XI. lag sie schon auf der Linie Athen-Bengasi, nachdem sie etwa 2000 km in 48 Stunden zurückgelegt hatte.

Der hier betrachtete Einbruch bezieht sich auf die zweite Staffel der die Wetterlage beherrschenden großen Zyklone, deren Kern am 31. X. über der Deutschen Bucht lag. Ihr Weg über den Ostatlantik und England und die Wanderung des Zyklonenzentrums sind aus der Karte in Abb. 20 zu ersehen. Bis zu ihrem Einbruch in den Golfe du Lion am 31. X. gegen Mittag hatte die Abkühlungsisochrone eine zunächst größere, dann kleinere Geschwindigkeit von durchschnittlich 2000 km/48 Std.

Am **31. X.** morgens bildet sich über der Oberen Adria ein Resonanztief des über der Deutschen Bucht liegenden Sturmtiefs aus, während das bis nach dem Balkan vorgedrungene Teiltief, das die erste Staffel über das Mittelmeer geleitet hatte, verschwindet. Das Druckbild entspricht also dem Typ IX mit einer nördlich der Alpen liegenden tiefen Zyklone, die allerdings hier an der Oberen Adria ein Resonanztief entwickelt.

Die Alpen wurden bereits am Morgen des 31. X. bei beträchtlicher Temperaturabnahme der Höhenstationen von den Massen überschritten. Das Tessin meldet Nordföhn. Eine Abkühlung wird hier nicht beobachtet. Bei weiterem Vorrücken nach Südosteuropa zeigt sich jedoch eine solche gegenüber der im Süden wärmeren Luft der Apenninhalbinsel. Aus dem Niederschlagsreichtum, z. T. Schnee, ist auf den Grad der Feuchtlabilität der Massen zu schließen.

Im Golfe du Lion wird der Einbruch der Kaltluftmassen durch einen starken Schauer am Mittag gekennzeichnet. Er schreitet von dieser Stelle aus auf der Hauptstrombahn B weiter, während die z. T. über die Alpen gekommenen Luftmassen der Hauptstrombahn E folgen. Das Einströmen über Triest begann am 31. X. gegen Abend. Der Kälteeinbruch bedeckt bereits nach 24 Stunden ganz Italien. Seine Ostbegrenzung wird durch den Depressionskern über der nördlichen Adria gebildet. Seine westliche Grenze ist dagegen schwerer zu bestimmen, denn das Azorenhoch reicht bis Westspanien und bezieht auf seiner Ostseite auch andere maritime Massen mit in das Strömungsbild ein. Das Fortschreiten der Kaltluftmassen zeigt sich hier also nicht nur auf den Bahnen B und E, sondern auch in Streichrichtung des Apennin über die ganze Halbinsel. Hierbei wirken auch Kaltluftmassen mit, die über die Alpen gekommen sind.

Am Morgen des 1. XI. ist das Zentrum des Sturmtiefs von Deutschland bis nach Bulgarien gelangt. Auch die Abkühlungsfront ist, wie die Abb. 20 zeigt, über ganz Italien fortgeschritten und macht sich mit Cnb-Bewölkung und Niederschlag noch über Sizilien bemerkbar. Ebenfalls hat die Front am Morgen unter leichter Abkühlung und Regen Bizerta erreicht. Weiter nach Westen wird das Bild, wie gesagt, weniger klar. In Algier ist das Eintreffen der Staffel um 7 Uhr morgens in der Temperaturregistrierung und der Bewölkung eben noch festzustellen.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit war also verschieden. An der Westseite betrug sie etwa 850 km/24 Std. und in der Hauptrichtung auf Sizilien hin etwa 1100 km/24 Std.

Das Einströmen der Kaltluftmassen über den Golfe du Lion dauert im Wesentlichen nur noch den 1. XI. über an, doch werden neue Kaltluftmassen über Frankreich nicht mehr herangeführt, da südlich von Island bereits eine neue Zyklone erscheint und das Azorenhoch nach Frankreich übergreift.

Die Erwärmungen, die die untersten Schichten der Kaltluftmasse auf ihrem Wege vom Golfe du Lion bis nach Sizilien erfuhren, waren recht erheblich. Sie lagen bei 5° und z. T. darüber.

Die Front der Kaltluftmassen, die von Norden her ohne weiteren Zufluß bleiben, nimmt von Italien im Laufe des 1. XI. auf der Rückseite des jetzt über dem Balkan liegenden Sturmtiefs ihren Weg bis in die Ägäis. Leros (Dodekanes) passieren die Massen am 2. XI. mittags, was auch aus den Höhenwinden zu ersehen ist. Um 14 Uhr hat Leros 8/10 Bedeckung mit 0,9 km unterer Wolkengrenze. Freilich sind erhebliche Erwärmungen der betreffenden Massen auf ihrem Wege festzustellen.

Ein neuer Zufluß von kalter Luft kommt am 2. XI. von Nordosten her auf der Hauptstrombahn F. Diese Kaltluftmassen sind auch durch den Aufstieg von Vigna di Valle erfaßt. Sie dürften kaum unverändert durch das Festland geblieben sein, über dem sie einige Tage lagen. Hieraus erklärt sich ihre verhältnismäßig hohe Temperatur, die in Vigna di Valle bis 2000 m als Kaltluft gemessen wurde.

Wie das Thetagramm in Abb. 25 zeigt, reicht die Kaltluft in dem Aufstieg von 12 Uhr mittags von unter 1000 m bis etwa 2250 m, wo auch der Höhenwind in Vigna di Valle und Montecelio einheitlich NNE bis N gemessen wird. Der thermometrische Gradient der wahren Temperatur betrug 1,0°—0,68°/100 m. Die äquivalentpotentielle Temperatur liegt, wie das Diagramm zeigt, in 800 m Höhe bei 29°, in 2250 m Höhe bei 24°. In größeren Höhen werden wieder wärmere Massen beobachtet.

3. Kapitel.

Beispiele für Kaltlufteinbrüche vorwiegend aus dem Raum östlich der Alpen.

Der Einbruch vom 10.—12. März 1932 auf den Hauptstrombahnen D und E.

Ein Beispiel für die Hauptstrombahnen D und E ist der Einbruch kontinental-arktischer Massen vom 10. bis 12. März 1932 über Italien. Er erfolgt in erster Linie über Istrien, doch stoßen auch Massen über den Golfe du Lion auf der Hauptstrombahn B und selbst über die Alpen vor.

Die Wetterlage für den 11. März um 8 Uhr ist in der Abb. 21 dargestellt. Sie zeigt zu beiden Seiten des Apennin, über der Bucht von Genua und über der mittleren Adria, zwei Zyklonenkerne, die das Einströmen kontinental-arktischer Massen auf der Bahn D bzw. E veranlassen. Am Vortage war die Wetterlage ähnlich, nur lag an Stelle der beiden Zyklonenkerne über ganz Norditalien eine Depression mit dem Kern bei Genua. Die Kaltfront zog sich um 8 Uhr früh dieses Tages von der Ungarischen Ebene längs des Alpenkammes quer über das mittlere Rhônetal zum Golf der Biscaya hin. Sie und die Strombahnen der Kaltluft an diesem Tage sind punktiert in der Karte eingetragen.

Am Abend des 10./III. begann dann die Kaltfront, teils unter Überschreitung der Alpen, teils unter Benutzung der Hauptstrombahn D in das Valpadana vorzustoßen, während die über Südfrankreich liegende Kaltfront auf der Hauptstrombahn B vorrückte.

Am Morgen des **11./III.** lag die Front des Kaltlufteinbruchs auf der Hauptstrombahn B in Anschluß an den Kern der Genuazyklone bereits östlich von Korsika und Sardinien. Der Zustrom weiterer Kaltluft auf der Hauptstrombahn B war unter dem Einfluß der Großwetterlage, die über Frankreich Ostwinde veranlaßte, bereits fast völlig abgeschnitten. Außerdem strömte Kaltluft über Istrien gegen eine die beiden Zyklonenkerne verbindende Front, die am Nordhang des Apennin lag und Niederschlag brachte. Südlich dieser Front befand sich eine warme Sciroccoluftmasse, die nordwärts strömte. Über Rom und Foggia wurde ein Bodenwind von Beaufort 4 gemessen. Ein Niederschlagsgebiet nördlich der Adriazyklone zeigte den Weg dieser Warmluftmassen in der Höhe an.

Der Einbruch im Osten begann, wie gesagt, am 10./III., wo auf der Abendkarte Triest mit 4° Abkühlung und Rückgang der Feuchte, Venedig mit der gleichen Abkühlung gegen den Vortag und Anstieg der relativen Feuchte erscheint. Auch aus den Alpentälern erhielt das Valpadana erhebliche Abkühlungen.

Auch am 11./III. dauert dieser Kaltluftstrom an, wobei er an einigen Stellen noch weitere Abkühlungen bringt. Istrien hat Schneefall, der Nordhang des Apennin Regen.

Am Morgen des 12./III. findet ebenfalls noch ein Einströmen von kalter Luft auf den Bahnen D und E statt. Dann beruhigt sich die Wetterlage, und die an sich schon flachen Zyklonenkerne verschwinden nahezu vollständig. Der Grund dafür scheint bei beiden Zyklonen das Einströmen der Kaltluft unmittelbar in den Kern zu sein. Dies mag bei der Genuazyklone durch die orographischen Verhältnisse, bei der Adriazyklone durch die kräftige, von den flachen Druckgebilden überhaupt nicht in ihrer Stromrichtung beeinflußte Sciroccoluft veranlaßt worden sein, die ein Überschreiten des Apennin durch die Kaltluft, die auf der Hauptstrombahn E vorstieß, verhinderte. Hierfür müßten die Druckverteilungen in höherem Niveau die Veranlassung gegeben haben. Es handelte sich ja bei den diese Kaltlufteinbrüche auslösenden Zyklonen um ganz flache und offenbar recht niedrige Druckgebilde.

Die Kaltluftvorstöße vom 25. Februar bis 3. März 1932 auf den Hauptstrombahnen B, C, D, F und G.

Als Beispiel für eine winterliche Ostwetterlage und das Anhalten des Kaltlufteinströmens auf verschiedenen Bahnen, deren gegenseitige Ablösung durch die schnell wechselnde Zyklonenlage bedingt wurde, ist die Woche vom 25./II. bis 3./III. ausgewählt worden.

Die Großwetterlage, unter der die im folgenden zu behandelnden Kaltlufteinbrüche das Mittelmeer erreichten, ist durch eine Antizyklone in Nordeuropa gegeben, die ihren Kern im Laufe der Woche von Westen nach Osten verlagerte und nach Abschluß der betrachteten Zeitdauer am 3./III. nach Osten hin verschwand, um einem Tiefdruckgebiet Platz zu machen.

Die auf der Ostseite dieses Hochs über Westrußland und Finnland herangeführte Kaltluft war kontinental-arktischen Ursprungs.

In einem gewissen Gegensatz zu dieser einfachen Großwetterlage stand der häufige Wechsel der Lage der Zyklonen im westlichen Mittelmeer, die die Richtung des Einströmens der Kaltluft wesentlich beeinflußten.

Um das Mitteilen einzelner Wetterkarten und deren ausführliche Besprechung zu vermeiden, wurde versucht, eine schematische Darstellung der Zyklonenlage und der mit ihnen in Verbindung stehenden jeweils von der Kaltluft benutzten Hauptstrombahn zu geben. Diese Vereinfachung wurde dadurch ermöglicht, daß die Zyklonen in dieser Zeit nur an vier Stellen auftraten, nämlich zwischen den Balearen und Sardinien, im Golfe von Genua, in der südlichen Adria und im Ionischen Meer.

Die Lage dieser Zyklonenkerne ist in der schematischen Abbildung 22a durch Kreise dargestellt, in deren Innern die den betreffenden Meeresräumen entsprechenden kleinen Buchstaben b, g, a, j eingeschrieben sind. In dieses gleiche

Diagramm sind auch die Anfangsstücke der in diesem Zeitraum unbedingt vorkommenden Hauptstrombahnen eingetragen. Die jeweils tiefste Zyklone ist durch einen doppelten Kreis um den Kennbuchstaben hervorgehoben.

Die Wetterlage am Abend des 25./III. stellt das Diagramm der Abb. 22b dar. Es enthält die Zyklone (j) mit 1002,5 mb über dem östlichen Ionischen Meer, schwach angedeutet (a) mit 1005 mb und über dem Golf von Genua (g) mit 1007,5 mb. Offenbar unter Einwirkung der Antizyklone strömt hier Kaltluft auf der Hauptstrombahn D ein und bringt Triest eine Abkühlung von 3° gegenüber dem Vortag.

Am **26./II.** früh herrscht die Wetterlage der Abb. 22c mit (j) von 1007,5 mb und (b) von 1010 mb. Kaltluft strömt auf den Hauptstrombahnen D und F den ganzen Tag über ein und bringt der dalmatinischen Küste Abkühlungen. Triest hat mit —3° C eine um 7° tiefere Morgentemperatur als am Vortage. Am Abend dringen die Massen über den Apennin hinaus und bringen Rom und Livorno mit einem Windsprung gegen den Vortag 7° Abkühlung. Perugia mit —4° C und Potenza im südlichen Italien mit —5° C erfahren beide 6° Abkühlung. Auch die ionische Küste ist erheblich kälter geworden. Die in der Abb. 22c eingezeichnete Abkühlungsisochrone gilt für den Abend. Sie liegt über dem Tyrrhenischen Meere, klar an Wind- und Temperaturverteilung zu erkennen.

Daß der Kaltlufteinbruch eine große Höhenerstreckung hatte, zeigen die Beobachtungen der Höhenwinde. Diese wehen in Norditalien in Richtung der Hauptstrombahn D, in Mittelitalien weichen sie in 2000 m Höhe von der gemäß Hauptstrombahn F zu erwartenden Nordrichtung ab und bilden eine Nordost-Strömung. Sie zeigen damit an, daß der Einfluß des flachen Tiefs über dem Ionischen Meer sich nur auf die unteren Schichten erstreckt.

Die Wetterlage am **27./II.** um 8 Uhr ist durch die Zyklone im Golf von Genua und im östlichen Ionischen Meere mit je 1010 mb gekennzeichnet. Die Genuazyklone (g) hatte sich erst über Nacht, anscheinend aus der (b) Zyklone entwickelt. Es treten die Hauptstrombahnen B, D und F auf. Letztere brachte besonders auch über Rom und Neapel erhebliche Abkühlungen. Vigna di Valle beobachtete seine tiefste absolute Jahrestemperatur und Neapel mit —2° C die einzige Termintemperatur des Monats unter dem Gefrierpunkt.

In Norditalien veranlaßte die Front der auf der Hauptstrombahn D vorgestoßenen Kaltluft mittags ein Niederschlagsband im westlichen Oberitalien. Die Niederschlagsfront reichte vom Gotthardt bis nach Genua, auch hier wurde noch Schnee beobachtet. Ein Beispiel für die Stärke dieses Einbruchs ist die Abkühlung in Triest, die am Morgen des 27./II. 8° gegenüber dem 25./II. betrug.

Im Laufe des 27./II. wandert die Zyklone (g) nach Südwesten und liegt am Abend als eine Zyklone (b) zwischen den Balearen und Sardinien. Durch diese Bewegung wird der weitere Kaltluftzustrom auf der Hauptstrombahn B in die Bahn C umgelenkt. Er brachte noch am Abend eine Abkühlung von 7° in der Provence gegenüber dem Vortage.

Die Verlagerung der Zyklone nach Südwesten stand offenbar in Zusammenhang mit einem Warmluft-Transport nach Norden über das Tyrrhenische Meer, der Rom am Abend erreichte und hier Erwärmung brachte. Er war auch in der Höhe nachweisbar.

Durch diesen Warmluftvorstoß werden die kalten Luftmassen der Hauptstrombahn F von denen der Hauptstrombahn B bzw. C und D getrennt. Er-

stere (F) unterliegen auch nicht mehr der Einwirkung des morgens noch über dem Ionischen Meer liegenden Tiefdruckgebietes, da dieses inzwischen bis zur Ägäis abgewandert ist. Sie stoßen nun, entsprechend der Richtung der Höhenwinde des Vortages als Nordost-Winde über das südliche Tyrrhenische Meer vor. Hierbei verringert sich mit weiterem Vordringen nach Süden erheblich ihre Höhe, so daß auf der Nordseite Siziliens am Boden Nordostwind, aber schon in 1000 m Höhe Südost- bzw. Südwest-Wind herrscht.

Am Morgen des **28./II.** zeigt sich dann das in Abb. 23 dargestellte Kartenbild. Von den Zyklonen besteht nur noch das Balearentief (b) und schwach angedeutet das Adriatief (a). Die Kaltluft rückt jetzt deutlich auf den Hauptstrombahnen C, D und G vor. Sie hat bei Rom die aufgleitende Warmluft wieder zurückgedrängt. Rom und Neapel hat Schneefall bei starkem Ostwind, doch liegt die Warmfront nur etwa einen Breitengrad südlich von Rom. Die ehemals der Hauptstrombahn F angehörende Kaltluft, die sich am Vorabend über Sizilien unter der Warmluft ausbreitete, hat Veranlassung zu Niederschlag in Malta und Tripolis gegeben, macht sich aber im Temperaturbild kaum noch bemerkbar.

In Norditalien ist im Valpadana die Abkühlung recht stark. Domodossola, Sondrio und Trient melden z. B. talabwärts gerichtete Winde mit 3—6° Abkühlung gegenüber dem Vortage. Im übrigen Valpadana herrschen Ost- bis Nordost-Winde mit Abkühlungen von 2—4°. 5° Abkühlung wurden mit Nordwind über den Ligurischen Apennin in Genua beobachtet, wo jetzt —2° C verzeichnet werden. Im Golfe du Lion wurden am Ausgangspunkt der Hauptstrombahn C Abkühlungen von 3—4° beobachtet.

Im Laufe des Tages vereinigte sich das Tiefdruckgebiet bei den Balearen mit einer bereits morgens am 28./II. über Spanien liegenden Depression und verschwand dadurch am 29./II. früh aus dem Druckbild des westlichen Mittelmeeres.

Die Wetterlage des **29./II.** ist durch die kräftige Depression über Spanien [1]) und die schwache Andeutung eines Tiefs über der südlichen Adria gekennzeichnet. Das Einströmen der Kaltluft hält auf den Bahnen D und G an, doch erreichen in Rom und Genua die Massen nicht mehr die tieferen Temperaturen der Vortage. Von der Hauptstrombahn C ist entsprechend dem Druckbild nichts mehr zu merken. Im Gegenteil scheint hier der seltene Fall einzutreten, daß Kaltluft von der Hauptstrombahn D und vielleicht auch G, gewissermaßen rückläufig werdend, unter dem Einfluß der spanischen Depression von Südosten her aus dem Golfe du Lion heraus auf der Nordseite der Pyrenäen entlangstreicht. So meldet Toulouse mit Ostwind der Stärke 7 eine Temperatur von 2° C und Bordeaux mit Ostwind der Stärke 3 eine Temperatur von 3° C. Daß die Luftströmung über das Meer aus Osten bis Südosten kommt, zeigt die Beobachtung von Marseille, wo eine Windstärke 4 bei Ostwind gemeldet wird. Allerdings beträgt hier die Lufttemperatur 7° C. Auch das Druckbild läßt keine andere Windrichtung als solche, die Kaltluft aus dem Golfe du Lion landeinwärts heraufbefördert, hinzu. Selbstverständlich ist dieser Fall äußerst selten.

Am **1./III.** herrscht weiter die spanische Zyklone mit 995 mb und eine Genuazyklone mit 1005 mb. Unter diesem Druckbild strömt Kaltluft auf der Hauptstrombahn D ein. Auch scheint ein schwaches Einströmen auf der Hauptstrombahn G stattzufinden. Die Temperaturen im Valpadana sind wieder um 2°

[1]) Auf der Abb. 23 mit „(Sp)“ bezeichnet.

gefallen. So meldet Padua —1° C bei Ostwind der Stärke 6, Triest —2° C bei Ostwind der Stärke 6, Genua 0° C bei Nordwind mit Beaufort 9. Die Kaltluftmassen der Hauptstrombahn D münden unmittelbar in die Genuazyklone und füllen sie ganz offensichtlich auf. Sie verschwindet noch im Laufe des gleichen Tages (1./III.) völlig.

Dementsprechend ist die im Valpadana strömende Kaltluft am **2./III.** um einen Grad wärmer, hat aber die gleiche Stromrichtung beibehalten. Auch auf der Hauptstrombahn G scheint noch ein Einströmen stattzufinden; jedenfalls hat Mittelitalien bei allerdings höheren Temperaturen Nordostwinde. Das Gleiche gilt für Rom, während Neapel Nordwind bei einer Temperatur von 8° C zeigt. Tatsache ist, daß die gegenüberliegende sizilianische Küste des Tyrrhenischen Meeres klare Südwinde mit 8° höheren Temperaturen als Neapel zeigt. Diesen Warmluftmassen gegenüber liegen also die Kaltluftmassen bei Rom und Neapel mit einer Front über dem Tyrrhenischen Meere.

Im Verlauf des 2./III. löst sich von dem spanischen Tief ein Ausläufer ab und wandert bis zum **3./III.** in das Ionische Meer. Dieser Ausläufer veranlaßte ein Zuströmen der über Mittelitalien liegenden Kaltluft auf der Hauptstrombahn F und brachte Nordsizilien 4° Abkühlung gegenüber dem Vortag. Ein weiteres Nachströmen von Kaltluft auf der Hauptstrombahn F von der dalmatinischen Küste her ist allerdings nur angedeutet. Ihm gegenüber scheint sich die erwärmende Wirkung des Adriatischen Meeres schon durchzusetzen. Auch über dem Valpadana wurde das Zuströmen schwächer, und die Temperaturen stiegen wieder um einen Grad an.

Dieses Abschwächen des Zustroms von Kaltluftmassen aus dem Osten hängt mit der eingangs erwähnten Änderung der Großwetterlage zusammen, die die Antizyklone vom 2. zum 3./III. rasch nach Südrußland zurückweichen ließ. Am Morgen des 4./III. ist dann auch der östliche Kaltluftzustrom völlig verschwunden.

V. Hauptteil.

Einige Folgerungen aus den behandelten Beispielen.

1. Kapitel.

Allgemeines.

Aus der Vielzahl der möglichen Folgerungen, die das ganze bearbeitete Material hinsichtlich der physikalischen Geschehnisse (Ausbreitungsgeschwindigkeit, Erwärmungsvorgänge, Frontform, Konvergenz und Divergenz der Stromlinien) und meteorologischen Erscheinungen (Niederschlag, Nebel, Gewitter) bei den Einbrüchen bietet, seien im folgenden nur einige sich sofort als anscheinende Gesetzmäßigkeiten ergebende Zusammenhänge dargestellt.

Es ist nun an und für sich durchaus nicht selbstverständlich, daß überhaupt Gesetzmäßigkeiten bei den Kaltlufteinbrüchen auftreten müssen, denn jeder dieser Vorgänge stellt eine von allen anderen mehr oder weniger verschiedene Erscheinung dar, wie ja auch die Großwetterlage, die auf den Einzelvorgang einen mehr oder weniger starken Einfluß ausübt, niemals völlig mit irgend einer anderen identisch sein wird. Trotzdem muß festgestellt werden, daß wenigstens bei Kaltlufteinbrüchen auf derselben Hauptstrombahn gewisse Vorgänge (z. B. ähnliche Zyklonenbahnen usw.) sich immer wieder gleichartig abzuspielen scheinen und so einer zusammenfassenden Betrachtung durch Mittelwerte zugänglich werden.

Die Tatsache, daß überhaupt die Auffindung derartiger gleichartiger Erscheinungen bei Kaltlufteinbrüchen auf einer Hauptstrombahn möglich ist, spricht dann dafür, daß nicht das Wetterkartenbild das Wesentliche bei einem Kaltlufteinbruch ist, sondern daß der Vorgang des Einfließens der kalten Massen seinerseits das Kartenbild gestaltet.

In diesem letzten Hauptabschnitt soll außer auf diese bei Kaltlufteinbrüchen auftretenden typischen Vorgänge noch einmal auf die Weiterwirkung der hier betrachteten Kaltluftvorstöße über den

Raum des westlichen Mittelmeeres hinaus auf das östliche Mittelmeer eingegangen werden.

Es soll also das gesamte Mittelmeergebiet als Schauplatz des Wettergeschehens wenigstens kurz behandelt werden. Dies ist ohne Zuhilfenahme weiterer Untersuchungen allein im Anschluß an die vorliegende Arbeit möglich, weil die orographische Begrenzung des östlichen Mittelmeerraumes außer den bisher betrachteten Einbruchspforten der Kaltluft eigentlich nur eine einzige weitere über den Bosporus und die Dardanellen zuläßt, sofern man von den Kaltluftmassen absieht, die sich im Winter im mazedonischen Gebiet südlich der die Balkanhalbinsel abtrennenden Gebirge bilden. Die hier behandelten Kaltluftvorstöße sind also in den weitaus meisten Fällen auch für das östliche Mittelmeer die Abkühlungbringer.

2. Kapitel.

Die physikalischen Folgerungen.

a) Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kaltluft.

Die eindrucksvollste physikalische Erscheinung der behandelten Einbrüche ist das Fortschreiten der Kaltluft über die Erd- bzw. Wasseroberfläche. Die im vorigen Abschnitt gegebenen Isochronen verschaffen ein anschauliches Bild davon. Interessant ist nun, daß die Geschwindigkeit dieses Fortschreitens bei allen behandelten Kaltlufteinbrüchen von den orographischen Verhältnissen der Hauptstrombahn, der sie angehören, beeinflußt zu werden scheint. Am besten ist die Bestimmung auf der Hauptstrombahn B möglich, von der auch das meiste Material verarbeitet wurde.

Aus 20 Fällen, von denen vier in den Beispielen behandelt wurden, ergibt sich auf der Hauptstrombahn B eine Geschwindigkeit von im Mittel

930 km/24 Std., d. i. 38,7 km/Std.

Die im IV. Hauptteil behandelten vier Fälle der Hauptstrombahn B zeigten dabei die folgenden Geschwindigkeiten des Vorrückens der Abkühlungsisochrone:

18.—19. III. 32	700 km/24 Std.
11.—12. IV. 32	850 km/24 Std.
9. I. 32	920 km/24 Std.
31. X.—1. XI. 32	1100 km/24 Std.

Überraschend ist, daß die Geschwindigkeiten des Vorrückens der Abkühlungsisochrone auf der Hauptstrombahn B in den ganzen 20 verhältnismäßig einfach zu bearbeitenden Fällen des Jahres 1932 deutlich einen jährlichen Gang aufweisen. Es wurden für die in 24 Stunden zurückgelegte Entfernung von dem Einbruchstor an der Rhônemündung für die verschiedenen Jahreszeiten des Jahres 1932 die in der folgenden Tabelle gegebenen Werte beobachtet:

Jahreszeit	km in 24 Std.	Anzahl der Werte	Mittlere Streuung (km/24 Std.)
Winter	875	2	75
Frühling	1030	8	129
Sommer	825	2	25
Herbst	880	8	85

Diese Tabelle zeigt, daß im Frühjahr, allerdings mit verhältnismäßig großer Streuung die größten, im Sommer die kleinsten Fortbewegungsgeschwindigkeiten der Kaltluft auftreten, während im Herbst und Winter die Geschwindigkeit der Kaltluft zwar über dem Sommerwert liegt, aber immer noch nicht den Mittelwert erreicht.

Die große Geschwindigkeit im Frühjahr dürfte sehr einfach dadurch zu erklären sein, daß die Temperatur der ankommenden Kaltluftmassen hier den größten Unterschied gegen die im Mittelmeer herrschende Temperatur besitzt, die ja auch durch die Warmluftzufuhr aus Afrika immer wieder erhöht wird.

Es war schon eingangs darauf hingewiesen worden, daß bekanntlich die Temperaturen der aus dem Polarbecken kommenden Luftmassen im späten Winter und im ersten Frühjahr die niedrigsten sind.

Die geringen Geschwindigkeiten im Sommer erklären sich dann wenigstens z. T. durch die verhältnismäßig geringen Temperaturunterschiede der über dem ziemlich warmen Kontinent vorgewärmten Kaltluftmassen gegenüber dem durch Strahlungserwärmung nur verhältnismäßig wenig in seiner Oberflächentemperatur erhöhten Mittelmeerwasser. Außerdem wirkt aber auch noch die Sciroccotätigkeit des Sommers der Ausbreitung der Kaltluft nach Südosten bisweilen entgegen, denn unter dem Einfluß einer warmen Südströmung bilden sich leicht etwa in der Gegend der Straße von Messina stationäre Tiefdruckzentren mit einem nach Norden wan-

dernden Kern, die die Stromlinien des Kaltlufteinbruchs nach Norden hin ablenken und auch, wenn die Geschwindigkeiten der Fortbewegung noch verhältnismäßig groß sind, eine ziemlich stationäre Front entstehen lassen. Der Verlauf des Einbruchs am 18. III. 32 bietet hierfür ein anschauliches Beispiel.

Die fast regelmäßig zu beobachtende Geschwindigkeitsverminderung der Kaltlufteinbrüche auf ihrem Vordringen nach Südosten ist, soweit sie nicht auf das Divergieren der Stromlinien zurückzuführen ist, mit den eben genannten Vorgängen in Verbindung zu bringen. Damit erklärt sich auch, daß die Geschwindigkeit der ersten 12 Stunden wesentlich größer ist als die in den zweiten 12 Stunden des vom Augenblick des Einbruches an gerechneten Etmals. Es mag allerdings hierbei gerade für die Hauptstrombahn B auch der Umstand mitwirken, daß es immer sehr schwer ist, auf dem Meere die Front nach 12 Stunden festzulegen, während für die Bestimmung der Front am Ende der zweiten 12 Stunden, also des gesamten Etmals nach Beginn des Einbruchs die Stationen der süditalienischen, sardinischen und nordsizilianischen Küste bzw. der tunesischen Küste genügende Anhaltspunkte geben.

Die Geschwindigkeit im Herbst und Winter liegt, wie gesagt, noch unter dem Mittelwert, dürfte aber dem am häufigsten vorkommenden Wert entsprechen. Als maximale Geschwindigkeit wurde am 7. III. 32 die Geschwindigkeit von 1200 km/24 Std. ermittelt. In diesem Falle gelangten die Kaltluftmassen innerhalb von vier Tagen vom Ostgrönlandraum bis in die Ägäis.

Auf den anderen Hauptstrombahnen lassen sich mittlere Geschwindigkeiten des Vorrückens der Isochronen im Laufe eines Jahres nicht ermitteln. Die Beispiele für die Hauptstrombahn A zeigen, daß der im Etmal zurückgelegte Weg nicht geringer zu sein braucht als der auf der Hauptstrombahn B. Für die von Osten ausgehenden Hauptstrombahnen D bis G ist es besonders schwer, Mittelwerte der Fortbewegungsgeschwindigkeiten anzugeben, weil die Kaltluftmassen bei ihnen bis zum ersten Gebirgshindernis, das sie naturgemäß aufhält, nur geringe Entfernungen zu durchschreiten haben (Bahnen D, F, G), zum anderen, weil die Wege überhaupt recht kurz sind (Bahn E).

Immerhin zeigt das Beispiel vom 3. III. 32, daß die Kaltluftmasse auf der Hauptstrombahn F von Neapel bis Palermo auf der etwa 350 km langen Strecke nur etwa 12 Stunden brauchte. Wenn die Kaltluft das Hindernis, das das Festland und besonders das Ge-

birge bietet, überschritten hat, so breitet sie sich also auch auf dieser Bahn über dem Meere mit ähnlicher Geschwindigkeit aus wie die Kaltlufteinbrüche in der zweiten Hälfte des Etmals auf der Hauptstrombahn B.

In diesem Zusammenhang wäre eine Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit über dem Valpadana außerordentlich interessant, weil hier die Bodenreibung eine viel größere als über dem Meere sein muß. Leider ist es in diesem Gebiet nicht möglich, zuverlässige Werte für die Geschwindigkeit der Frontverlagerung eines Kaltlufteinbruchs zu erhalten, da der Zeitabstand zwischen zwei Terminen sich fast als zu groß für die Durchmessung der nur etwa 350 km langen Strecke erwies und außerdem die trichterförmige Ausbildung dieses Teiles eine völlige Verwischung der Geschwindigkeiten befürchten läßt.

b) Die Ausbreitungsform der Kaltluftmassen.

Sucht man nun allgemeine Gesichtspunkte für die Form der Ausbreitung der Kaltluftmassen im Mittelmeer, so ist diese bereits durch die im Anfang des III. Hauptteils eingeführten Hauptstrombahnen in ihrer Hauptvorstoßrichtung mitgeteilt worden. Es ist interessant, daß diese Hauptvorstoßrichtungen eigentlich ohne Kenntnis der Einzelvorgänge allein schon aus der Betrachtung der orographischen Verhältnisse, wie sie die Einbruchspforten und die Verteilung von Land und Wasser bieten, abzuleiten sind, wenn man einige der hauptsächlichsten Druckverteilungstypen als auslösend in Betracht zieht.

Die Isochronen der Hauptstrombahn B, die ja am meisten beschritten wird, und auch diejenigen der Hauptstrombahn A sind kaum anders vorzustellen, wenn man das Einfließen von schweren Luftmassen in diesen Raum etwa an einem Modell veranschaulichen wollte.

Das Gleiche gilt für die Hauptstrombahnen D und E, die weitestgehend orographisch vorbestimmt sind. Im allgemeinen kann man sagen, daß die Isochronen der Hauptstrombahn B, senkrecht zur italienischen Küste verlaufend, an ihr mit dem linken Flügel entlangstreifen, während ihr rechter Flügel, sofern er die afrikanische Küste erreicht, in seiner Ausbreitung nach Westen wesentlich undeutlicher zu beobachten ist.

Die Isochrone der Hauptstrombahn B hatte gewöhnlich eine konvexe Form, die hauptsächlich wohl durch eine Bremsung ihres Fortschreitens längs der italienischen Küste und durch das langsamere Fortschreiten des Depressionskerns, der die Kaltlufteinbrüche meist auf der Nordseite begleitete, erklärt werden konnte. Die ziemlich unscharfe Ausbildung der Kaltluft an ihrem westlichen Flügel muß mit der Begrenzung der Einbruchsbreite zwischen Alpen und Pyrenäen zusammenhängen, die gewöhnlich nicht ausreicht, um auch das westliche Mittelmeer mit Kaltluft zu erfüllen. Hierbei stellt ein häufig über Spanien oder Nordwest-Afrika vorhandener hoher Druck ohnehin eine Behinderung des Kaltlufteinbruches nach Westen auch auf seinem Wege über das westliche Mittelmeer dar.

Verhältnismäßig nur selten wird, wie in dem behandelten Beispiel vom 11./14. IV. 32, ein fächerförmiges Ausbreiten beobachtet, das einem gleichzeitigen Beschreiten der Bahnen B und C entspricht und bei dem dann besondere Druckverteilungen, z. B. hoher Druck nur über Nordspanien, vorliegen.

Gegenüber dieser verhältnismäßig klar ausgesprochenen Form der Einbrüche auf der Hauptstrombahn B und den orographisch bedingten Fronten auf der Hauptstrombahn D variieren die Formen der Isochronen auf den übrigen Hauptstrombahnen verhältnismäßig sehr stark. Lediglich von der Hauptstrombahn A kann gesagt werden, daß ihre Isochronen senkrecht zur afrikanischen Küste verlaufen und am Atlasgebirge ihre südliche Grenze finden.

Die orographischen Verhältnisse bedingen sowohl für die Bahn B als auch für die Bahn A ganz unzweifelhaft eine Divergenz der Stromlinien, so wie es bei Shaw und Lempfert (Lit. 81, Lit. Defant 14, pag. 89) beschrieben wird. Diese Dilatationen der Stromfelder sind mit absteigenden Luftströmungen verbunden. Konvergenzen der Stromlinien, also Kontraktionen der Stromfelder, finden sich verhältnismäßig recht selten, wenn man von den lokalen Störungen der Stromlinien um Korsika herum oder an der kalabrischen Küste absehen will. Das Gleiche gilt für die Hauptstrombahn F, die, wenn sie unter Einwirkung der Zyklone über dem Ionischen Meer den Apennin überschritten hat, mehr oder weniger weit nach Westen ausholt, ja sogar mit der Hauptstrombahn G vergesellschaftet auftreten kann.

c) Die Erwärmung der Kaltluftmassen auf dem Meere.

Als weitere wichtige Erscheinung ist bei Kaltluftmassen die Angleichung ihrer Temperatur an das Meer zu behandeln. Die Untersuchungen können sich hierbei nur auf die Erwärmung während eines 24 stündigen Aufenthaltes über dem Meere beziehen, da bei dem zur Verfügung stehenden Material nur diese Auswertungsmöglichkeit gegeben war, denn geeignete Schiffsmeldungen konnten kaum benutzt werden.

Selbstverständlich beziehen sich alle Erwärmungen nur auf die alleruntersten Luftschichten, die durch die Hüttenbeobachtungen erfaßt werden.

Die Feststellung solcher Erwärmungen werden zweckmäßig wieder in der Hauptsache nur auf die Hauptstrombahn B ausgedehnt, die den weitaus größten Weg über das freie Meer zurücklegt.

Auf ihr wurde als durchschnittliche Erwärmung der Kaltluftmassen vom Golfe du Lion bis zur kalabrischen Küste und Sizilien, bzw. darüber hinaus in 24 Stunden ein Wert von

$$3{,}5^0—4{,}0^0/24 \text{ Std.}$$

bestimmt. Der durchschnittliche Weg betrug hier, wie vorher näher ausgeführt, etwa 930 km.

Die nördliche Randströmung auf Hauptstrombahn B über Nordsardinien und die mittlere westliche Apenninküste weist dabei etwas geringere Erwärmungen auf. Das Gleiche gilt für die Randströmung auf der westlichen Seite, die den Weg vom Golfe du Lion bis zur Algierküste genommen hat. Es kann allerdings bei dieser letzteren Luftbahn die Tatsache mitwirken, daß die Meeresoberfläche längs der Algierküste durch eine kalte Meeresströmung, von der auch Carpenter (vergl. Th. Fischer, Lit. 35, p. 25) spricht, etwas kälter ist als die übrige vorher von der Kaltluftmasse überströmte Oberfläche des Mittelmeeres. Es handelt sich hierbei um einen nicht unerheblichen Betrag, denn die mittlere Jahrestemperatur von Oran liegt, wohl unter dem Einfluß dieser kalten Küstenströmung, mit 17^0 um 3^0 unter der von Algier. Auch Beobachtungen der Deutschen Seewarte (Lit. 16) zeigen, daß die Luft- und Wassertemperaturen in den Gewässern von Gibraltar bis Tunis vom April zum Mai erheblich weniger zunehmen als in den weiter nördlich liegenden Meeresteilen.

Bezüglich der jahreszeitlichen Einflüsse muß gesagt werden, daß die Erwärmung der Luftmassen im Winter etwa 5° beträgt, während im Sommer 2,5°—3° im Mittel beobachtet wurden. Dies hängt offenbar damit zusammen, daß die Luftmassen der Kaltlufteinbrüche des Winters erheblich niedrigere Temperaturen gegenüber dem Meerwasser aufweisen als die des Sommers.

Dagegen war ein gesetzmäßiger Unterschied in der Erwärmung der verschiedenen Luftmassen entsprechend der bekannten Klassifikation auf ihrem Wege über das Mittelmeer nicht festzustellen. Dies erklärt sich damit, daß fast sämtliche Kaltluftmassen auf ihrem Wege zur Rhônemündung bereits eine derartige Beeinflussung zumindest in ihren unteren Schichten erfahren haben, daß wesentliche Unterschiede zwischen mG_A- und mA-Luft, der Temperatur nach, in den unteren Schichten nicht mehr bestanden.

Wegen des Fehlens von genügenden passenden Beobachtungsstationen östlich von Sizilien, die auf der Fortsetzung der Hauptstrombahn B liegen, läßt sich die Bestimmung der Erwärmung östlich von Sizilien nicht mehr genau durchführen, auch wenn deutlich der Einbruch über Sizilien hinausgegangen ist. Lediglich einige Fälle, die das afrikanische Festland erreichten, machen eine Ausnahme. Sie zeigen, daß der am Ort bestehende Temperaturfall durch die Kaltluft mit weiterem Vorstoßen nach Südosten beträchtlich zunimmt, weil die an sich zwar wärmer werdenden Kaltluftmassen noch wesentlich wärmere, über der Wüste geheizte Massen südlicher Herkunft ersetzen.

Betrachtet man den Temperatursprung an sich, der durch einen Kaltlufteinbruch hervorgerufen wird, so beobachtet man häufig, daß er vom Eintrittsort am Golfe du Lion bis nach Sizilien hin abnimmt, an der afrikanischen Küste aber wiederum nach Südosten hin deutlich größer wird.

Es mag nochmals betont werden, daß es sich bei der Bestimmung der Erwärmung nur um Mittelwerte handeln kann, von denen die bei den einzelnen Einbrüchen auftretenden Erwärmungen mehr oder weniger nach oben oder unten abweichen können. Hierbei ist es interessant und stimmt mit dem eben Gesagten in gewissem Grade überein, daß gerade der schnellste Einbruch vom 7./8. III. 1932 nach Zurücklegung von 1200 km im Etmal vom Golfe du Lion bis zur Tripolitanischen See eine Erwärmung von 9,5° C/24 Std. zeigte.

3. Kapitel.

Die meteorologischen Erscheinungen im Zusammenhang mit den Kaltlufteinbrüchen.

a) Die Tiefdruckgebiete und die Kaltlufteinbrüche.

Auf den meteorologischen Zusammenhang zwischen den Kaltlufteinbrüchen und den Tiefdruckgebieten ist bereits im 2. Kapitel des III. Hauptteiles hingewiesen worden, in dem Zugstraßen der Depressionen in Zusammenhang mit den Hauptstrombahnen der Kaltluft gebracht wurden. Im folgenden möge, nachdem die Beispiele und auch der Kalender der Kaltluftmassen behandelt worden sind, noch einmal kurz auf diese Frage eingegangen werden.

Eine genaue Untersuchung der Kaltlufteinbrüche hat gezeigt, daß zum Zustandekommen eines Kaltlufteinbruchs fast in allen Fällen eine Zyklone erforderlich ist. Dies gilt eigentlich für alle Einströmungen. Auch die Kaltlufteinbrüche antizyklonaler Wetterlagen, also auf den Bahnen C und G, bedürfen zu ihrem Zustandekommen Zyklonen, die südlich der betreffenden Hauptstrombahn die Richtung auch dieser Strömungen bestimmen.

Zuweilen sind die Tiefdruckgebiete nur verhältnismäßig schwach und dauern mitunter auch nur kurze Zeit an. Es scheint aber gerade zum Zustandekommen eines Einströmens auf der sehr häufig benutzten Hauptstrombahn B eine Genuazyklone unerläßlich zu sein. Es mag mit dem durch die orographischen Verhältnisse bedingten Ablenken der Luftströme, die das ungestörte Ausweichen der Genuadepression nach Osten verhindern, zusammenhängen, daß die Genuazyklone als solche nicht bestehen bleibt, sondern durch eine Zyklone zunächst in der nördlichen Adria ersetzt wird, nachdem die erste Phase des Einströmens aus dem Golfe du Lion in die Nähe des Golfs von Genua erfolgt ist.

Die Genuazyklone hat dann allem Anschein nach die Wirkung gehabt, daß die ursprünglich mehr Nord-Süd verlaufende Strömung etwa des Mistral nach Südosten hin abgelenkt wurde.

Nachdem der Kaltlufteinbruch erfolgt ist, pflegt er dann bei Verschwinden der Genuazyklone unter der Wirkung der sie ersetzenden Adriazyklone ohne Überschreitung des Apennin in südöstlicher Richtung das Tyrrhenische Meer zu überqueren. Hierbei wandert, wie immer wieder beobachtet werden konnte, die Adriazy-

klone auf der Zyklonenbahn Vd über der Adria nach Südosten. Der Kälteeinbruch im Tyrrhenischen Meer überschreitet dabei meist nicht den Apennin, bleibt also von der Zyklone, in deren Strömungsbild er stattfindet, getrennt. Die Zyklone hält sich dabei immer etwa in der Höhe der linken Flanke des Kaltlufteinbruchs. Hat sie die mittlere Adria erreicht, so beginnt auch meistens Einströmen von Kaltluft auf der Hauptstrombahn E über Triest. Diese bleibt dann nördlich des Apennin und vertieft die Adriazyklone.

Neben diesem besonders häufigen Fall gibt es auch solche, in denen die Genuazyklone den Apennin nicht überschreitet, sondern den Kaltluftvorstoß begleitet und westlich des Apennin und der italienischen Halbinsel nach Südosten fließt. Hierfür ist in den Beispielen ein Fall behandelt worden (Zweites Beispiel, 18./22. III. 32).

Öfter wurden, wie schon mehrfach erwähnt, durch Warmluftvorstöße aus dem Süden Zyklonen dieser Art stationär, wobei sich die Zyklone meist erheblich vertiefte und nach Norden zurückwich, was ein Umbiegen der Stromlinien der Kaltluft in gleichem Sinne zur Folge hatte. Dies läßt die Frage auftauchen, ob Zyklonen auch allein, ohne Kaltluft, lediglich durch Warmluftvorstöße aus dem Süden in Zusammenwirkung mit den auf dem Meere liegenden, an sich kälteren Luftmassen zustande kommen könnten. Die vorliegende Untersuchung hatte nicht die Aufgabe, diese Frage zu lösen. Doch wurden im Verlauf der Bearbeitung mehrfach flüchtige zyklonale Störungen beobachtet, die auf das Zusammenwirken von Sciroccoluft und Mittelmeerluft zurückgeführt werden konnten. Andrerseits gibt auch das Vordringen von Kaltluftmassen Veranlassung zur Bildung schnell sich bewegender und dementsprechend nicht allzu langlebiger Zyklonen. Treten jedoch Sciroccoluftmassen zu einmal bestehenden, von Kaltlufteinbrüchen begleiteten Zyklonen, so scheint ein Stationärwerden der zyklonalen Wetterlage in dem Raume um Süditalien die Regel zu sein.

Das zeitweise Aufhalten von Zyklonen, die in Verbindung mit Kaltlufteinbrüchen auftreten, und der damit verbundene zeitweilige Aufstau der Kaltluftmassen scheint auch die Voraussetzung zu sein für das Forttragen von Kaltluft durch das ganze Mittelmeer hindurch bis an seine östlichen Küsten.

Nach den behandelten Beispielen muß zum Zustandekommen derartiger Einbrüche die Zyklone bei Zufuhr von Sciroccoluftmassen im Ionischen Meer zunächst aufgehalten werden, wobei im Winter dann Kaltluftmassen auf der Hauptstrombahn F die der Haupt-

strombahn B ersetzen. Ein zweiter Aufenthalt scheint in der Ägäis erforderlich zu sein, wo ebenfalls Kaltluftmassen durch dieses wichtige Einbruchstor östlich des hier betrachteten Raumes von der Zyklone angesaugt werden und dann ihr Fortschreiten in den weiteren östlichen Mittelmeerraum veranlassen [1]). Eine neue Kaltluftquelle mag dann auch aus Massen bestehen, die über Adana im Sinne des von Weickmann (Lit. 87), Bauer (Lit. 4) und Zistler (Lit. 89) mitgeteilten Kaltluftweges die Zyklone im östlichen Mittelmeer erreichen.

Aus den soeben behandelten Zusammenhängen folgt unmittelbar, daß die in dieser Arbeit besprochenen Einbruchstore für Kaltluft nicht nur das westliche Mittelmeer mit Kaltluft versorgen, sondern auch imstande sind, Kaltluft bis in das östliche Mittelmeer zu tragen. Östlich von der Adriaküste gibt es eigentlich, wie schon erwähnt, nur noch das Einbruchstor über die Ägäis, wenn man von dem nur von sehr intensiven Kälteeinbrüchen zu überschreitenden Gebiet südlich des Kaspisees absehen will.

b) Die Kaltlufteinbrüche im Zusammenhang mit den Wettererscheinungen.

Betrachtet man den Zusammenhang der Kaltlufteinbrüche mit den einzelnen Wettervorgängen in den Tiefdruckgebieten, so ist zunächst einmal der unmittelbare Einfluß eines Kaltlufteinbruchs auf das Druckbild zu behandeln, der sich durch die Isallobarendarstellung erfassen läßt.

Wegen der großen Geschwindigkeit der Kaltlufteinbrüche ist ihre Erkennung im Isallobarenfeld allerdings nur bei den für kurze Zeiträume gezeichneten Tendenzkarten zu erwarten. Hierfür kommen insbesondere die Tendenzkarten der Seewarte in Frage, die für die Zeit von 5 bis 8 Uhr morgens gelten. Selbstverständlich konnte ihr Isallobarenfeld zur Bestimmung der Kaltfront und ihrer Versetzung weitgehend mit herangezogen werden. Es ergab sich aber, daß die Form der Isochronen keineswegs den Isallobaren glich, sondern oft weit von ihnen abwich, auch dann, wenn einwandfrei

[1]) Diese nur für die winterlichen Verhältnisse geltenden Ausführungen, die sich auf echte Kaltlufteinbrüche beziehen, haben nichts zu tun mit scheinbar ähnlichen Abkühlungsvorgängen, die z. B. über Ägypten im Sommer beobachtet wurden. Die Ursache für letztere ist weniger ein Kaltlufteinbruch als vielmehr eine Verfrachtung von Westluft, die in Verbindung mit ihrer Anreicherung mit Feuchte den Charakter einer kühlenden Strömung angenommen hat.

feststand, daß die Abkühlung durch Advektion hervorgerufen worden war.

Betrachtet man den Einfluß der Kaltlufteinbrüche auf den Niederschlag, so muß gesagt werden, daß die Kaltfront häufig als Niederschlagsband auf den Wetterkarten festgehalten werden konnte. Es ist nun überaus verlockend, aus dem Bild der Niederschlagsverteilung gewissermaßen die einzelnen Hauptstrombahnen nachzuweisen. Praktisch gelingt dies allerdings wohl nur für die Hauptstrombahn B. Man kann also sagen, daß der größere Regenreichtum an der Luvseite der Apenninhalbinsel, von der Hauptstrombahn B aus gesehen, eben durch Kälteeinbrüche auf diesem Wege zum großen Teil verursacht wird.

Die bei den einzelnen Einbrüchen beobachtete Niederschlagsverteilung entspricht dabei durchaus den für die Monatszusammenfassung geltenden Niederschlagskarten. So tritt nach Alt (Lit. 3) auf der Niederschlagskarte für den Januar die Westseite von Sardinien mit größeren Werten gegenüber der Ostküste hervor. Dies entspricht offensichtlich Winden, die auf der Hauptstrombahn B wehen, und spricht gegen eine allzu wesentliche Beteiligung von warmer südlicher Luft an der Regenbildung über Sardinien. Andrerseits ist in der mittleren Jahresverteilung die relative Maximalzone der Niederschlagssumme in Italien, die im Süden von Rom beginnt und sich über Neapel an der Westküste bis Kalabrien zieht (Karten von Crestani, Lit. 13, pag. 261), schon von italienischer Seite als eine Folge der warmen und feuchten sciroccalen Südströmung mit gelegentlichen Kaltluftstaffeln von Nordwesten her erklärt worden, wobei natürlich auch die Hinderniswirkung der Küsten auf die Kaltlufteinbrüche auf der Hauptstrombahn B eine den Niederschlag vermehrende Wirkung ausübte.

Im ganzen deutet gerade diese Niederschlagszone an, daß hier sehr häufig ein Stationärwerden der Kaltfronten durch von Süden kommende Warmluftmassen unter Zurückweichen der Zyklone nach Norden, wie auf Seite 73 beschrieben, stattfindet.

Die Regen abfangende Wirkung Sardiniens reicht im Lee der Insel nicht mehr sehr weit, weil über dem ferneren Wege über das Tyrrhenische Meer schnell die Massen sich wieder mit Feuchte anreichern können.

Besonders interessant sind naturgemäß die Vorgänge in der Nähe der Bucht von Genua, über der die den Kaltlufteinbruch zumeist begleitende Genuazyklone zu liegen pflegt. An der liguri-

schen Küste ist der Jahreswert des Niederschlags recht hoch, während südlich davon bis in die Gegend von Rom ein ausgesprochenes Trockengebiet auf den Karten verzeichnet wird. Der Niederschlagsreichtum an der ligurischen Küste hängt offenbar mit der Genuazyklone zusammen und dürfte wohl der warmen Meeresluft zuzuschreiben sein, die unter dem Einfluß der durch den Kaltlufteinbruch vertieften Zyklone gegen die Küste strömt und hier aufgleitet.

Das Trockengebiet südlich der ligurischen Küste ist dann auf die Leewirkung der Insel Korsika gegen die Kaltluft zurückzuführen. Warme feuchte Meeresluft kann aus südlicher Richtung dieses Gebiet deswegen kaum treffen, weil die Genuazyklone gewöhnlich in der mehrfach beschriebenen Weise über den Ligurischen Apennin nach Osten abwandert und damit auf Luftmassen aus dem Gebiet zwischen Korsika und der italienischen Küste keine ansaugende Wirkung mehr ausübt. Diese Anschauung ist in Übereinstimmung mit der schon 1907 von Eredia (Lit. 21) mitgeteilten Auffassung, nach der die an der ligurischen Küste fallenden Niederschläge in der Hauptsache den an der Vorderseite der Genuazyklone und an den Höhen aufgleitenden feuchtwarmen Massen südlicher Herkunft zu verdanken sind.

Betrachtet man die rechte Flanke der auf der Hauptstrombahn B einbrechenden Kaltluftmassen, so mag die Regenarmut von Tunis, auf die Knoch (Lit. 50, pag. 37) besonders hinweist, weil in der Nähe von Tunis viel regenreichere Gebiete liegen, in gewissem Umfang einen Anhalt bieten für die Hauptrichtung, unter der die Regen bringenden Luftmassen den Golf von Tunis zu treffen pflegen; denn Tunis liegt im ganzen Nordquadranten allen einströmenden Luftmassen offen, und die Gebirge, die Regen bringende Luftmassen abfangen könnten, beginnen erst im Nordwesten. Wenn also durch orographische Hindernisse die nach Tunis gelangenden Luftmassen sich vorher abregnen müßten, so können sie nur aus nordwestlichen oder noch weiter von Westen her kommenden Luftströmungen herrühren.

Die Nordwestrichtung stimmt aber durchaus mit der Richtung der Hauptstrombahn B überein, sodaß die Identität der Luftmassen mit den Kaltluftmassen, die auf der Hauptstrombahn B von Nordwesten her das Mittelmeer durchfluten und sich auf ihrem Wege über das warme Meer mit Wasserdampf anreichern, durchaus wahrscheinlich ist.

Es erhebt sich hier naturgemäß die Frage, ob überhaupt alle Nordwestströmungen, die auf der Hauptstrombahn B entlangfließen, als Kaltlufteinfließen in den Golfe du Lion bemerkt werden mußten. Diese Frage ist deswegen mit erheblicher Wahrscheinlichkeit zu bejahen, weil eine schnelle Ausbreitung in gestreckter Bahn über das Mittelmeer längs der Hauptstrombahn B kaum anders als durch eine Kaltluftmasse stattfinden kann, denn ein solcher Luftmassenvorstoß setzt eine von Nordwesten nach Südosten wandernde Zyklone im östlichen Tyrrhenischen Meer oder der Adria voraus, deren Wanderung vermutlich wohl nur durch vorstoßende Kaltluft erzwungen werden kann.

Es muß in diesem Zusammenhange notwendigerweise auch auf den jährlichen Gang des Niederschlages im Mittelmeergebiet eingegangen werden. Im Mittelmeerklima herrscht deutlich der Winterregen und die Sommertrockenheit. Andrerseits finden aber auch im Sommer, wie die Abb. 3 gezeigt hat, erhebliche mG_A-Luft-Einbrüche statt, die nachgewiesenermaßen häufig auf der Hauptstrombahn B z. T. auch bis in das südliche Tyrrhenische Meer fortschreiten. Trotzdem verursachen diese sommerlichen Kälteeinbrüche dort kaum Niederschläge. Dies muß entsprechend der allgemeinen Erklärung der sommerlichen Niederschlagsarmut des Mittelmeerbeckens damit zusammenhängen, daß die Warmluftmassen, deren durch die Kaltluft an der Kaltfront verursachtes Empordringen ja den Niederschlag zustande bringt, im Sommer eine wesentlich geringere relative Feuchtigkeit aufweisen als im Winter. Tatsächlich ergibt sich auch über Inseln, z. B. über Malta, im Sommer eine um etwa 15% geringere relative Feuchte als im Winter. Auch die starke Erwärmung des Festlandes im Sommer wirkt naturgemäß auf die Kaltluftmassen ein. Deswegen wirken im Sommer schon Korsika und Sardinien oft sperrend auf die Kaltlufteinbrüche ein und verhindern das weitere Vordringen in das Tyrrhenische Meer. Nur die stärkeren Kaltlufteinbrüche gelangen bis nach Messina und darüber hinaus, in einem Falle sogar bis Bengasi, aber sie scheinen nicht mehr einheitliche Kaltfronten zu bilden und ähneln mehr über erwärmtes Festland gewehter Meeresluft als echten Kaltlufteinbrüchen.

In diesem Zusammenhang muß noch darauf hingewiesen werden, daß im Sommer der Land- und Seewind sich außerordentlich erschwerend auf die Erkennung der Kaltluftvorstöße bemerkbar macht. Es kann sicher auch damit gerechnet werden, daß diese

starke Zirkulationsform der Küstenluft in den Küstengebieten Kaltluftvorstöße zumindest maskiert. Da aber außer den wenigen Stationen auf den kleinen Inseln nur Küstenstationen zur Bestimmung der Kaltlufteinbrüche zur Verfügung stehen, so ist die vorhin erwähnte Uneinheitlichkeit des Erscheinens der Kaltluft über der Küste im Sommer vielleicht auch auf das lokale Windsystem zwischen Land und Meer zurückzuführen.

Es sei hier bemerkt, daß die Kaltluftmassen auch in der kalten Jahreszeit eine Wetterverschlechterung und Niederschlagsbildung natürlich nur an der Einbruchsfront veranlassen. Hinter dieser Front findet man bei Kaltlufteinbrüchen infolge der Abgleitfläche absinkende Luftbewegung und Aufheiterung. Gerade bei längerer Andauer des Zuströmens der Massen ist diese Erscheinung für die Einbrüche das Bezeichnende. Diese Wetterbesserung bei längerem Kaltlufteinfließen ist bei den Kaltlufteinbrüchen aus dem Osten die Regel; so war es ja auch von der Bora bekannt, daß im Winter mit ihr Bewölkungsabnahme verbunden ist. Gerade in Spätwinterlagen mit aus Osten kommenden Kaltlufteinbrüchen ist mit schwächerer Bewölkung zu rechnen, wenn auch freilich Morgennebel-Bildung infolge Ausstrahlung häufig beobachtet wurde.

Eine Sonderstellung nehmen das Valpadana und der Nordost-Apennin ein. Das Gebirge bildet naturgemäß ein orographisches Hindernis, das an sich schon Bewölkung und Kondensation veranlaßt. Dies ließ sich gut in den Beispielen erkennen, wenn die Kaltluft aus Osten das Valpadana zu füllen beginnt und sich an den Hängen des Nordapennin staut. Hierbei nimmt infolge der Erwärmung vom Boden her die Instabilität der Kaltluftmassen zu und führt zu Kondensation. Im eigentlichen Valpadana dagegen kann man eher mit einer Aufheiterung durch den Kälteeinbruch rechnen; sie wird allerdings häufig wieder durch das Auftreten von Ausstrahlungsnebel überdeckt, der im Valpadana besonders intensiv ist und ebenfalls mit den Kaltlufteinbrüchen in recht engem Zusammenhang steht. Dieser Zusammenhang ist dadurch gegeben, daß, wie aus den Beispielen zu ersehen ist, die Kaltluft das Valpadana recht bald ausfüllt und dann stagniert.

Es muß erwähnt werden, daß in der warmen Jahreszeit die Boraerscheinungen häufig mit Zunahme der Bewölkung und mit Niederschlag verbunden sind, wie auch schon in der italienischen Literatur hervorgehoben wurde.

Hierzu ist aber zu sagen, daß im Sommer auch die Kaltluft-

massen, die von der dalmatinischen Küste ihren Ausgang nehmen, nicht die große Trockenheit der winterlichen cA- und cG_A-Massen haben, sondern meist der mG_A-Luft angehören und daher wesentlich feuchter sind.

Über Nebelbildung über der Halbinsel im allgemeinen ist zu sagen, daß diese wohl sonst eher in Zusammenhang mit Zufuhr von Massen südlicher Herkunft, die auf dem Meere mit Feuchte angereichert werden, zurückzuführen ist. Es handelt sich dann um Mischungsnebel, die mit Kaltlufteinbrüchen nichts zu tun haben.

Bekannt ist als eine besondere Eigenschaft der Kaltlufteinbrüche die Gewitterbildung. Es ist bemerkenswert, daß nur ein geringer Teil der hier beschriebenen Kaltlufteinbrüche mit Frontgewittererscheinungen parallel ging. Lediglich die Kaltlufteinbrüche auf der Hauptstrombahn D im Valpadana zeigten etwas häufiger die an Kaltfronten sonst gewöhnlichen Gewittererscheinungen.

Diese Gewitter im Valpadana wurden bereits in den grundlegenden Untersuchungen von Schiapparelli behandelt und in neuerer Zeit wieder von Alippi (Lit. 2) aufgegriffen. Von diesem Verfasser wird der oft in den Beispielen auftretende Tiefdrucksack über dem Valpadana in seiner Verbindung mit den Gewittern betrachtet und geschildert, wie durch das Zusammenwirken der instabilen Kaltluftmassen, die aus Osten in das Valpadana fließen, mit den meist mehr subtropischen Massen, die über den nicht allzu hohen Ligurischen Apennin in die Ebene treten, Gewittererscheinungen ausgelöst werden, und wie die allgemeine nordwestliche Oberströmung mit gewissen Saugeffekten den Vorgang begünstigt (Alippi, pag. 151).

Selbstverständlich kommen derartige Gewitter besonders häufig im Sommer vor. Dementsprechend ist die Verbindung mit dem Typ I der charakteristischen Druckverteilungen (s. Anhang), der maritime Polarluft heranführt, hier schon den italienischen Autoren aufgefallen. Alippi stellt noch fest (pag. 175), daß die schweren Gewitter nur bei Einströmen kalter Ostluft entstehen, während die eigentlichen Wärmegewitter viel weniger schwer sind.

Die Gewitter, die bei Kaltluftzufuhr aus Osten entstehen, gehen nur selten über den Apennin hinaus nach Westen. Gewitter in den Landschaften Mittelitaliens westlich des Apennin waren entweder überhaupt ausgesprochene Wärmegewitter oder entstanden durch das Zusammentreffen von Kaltluftmassen auf der Hauptstrombahn B mit Massen subtropischer Herkunft. Andere Gewittererscheinungen auf der Hauptstrombahn B waren verhältnismäßig selten zu beobachten. Dies mag mit der vorher behandelten auf-

lösenden Wirkung des heißen Festlandes auf Kaltlufteinbrüche zusammenhängen.

4. Kapitel.

Die aerologischen Erscheinungen im Zusammenhang mit den Kaltlufteinbrüchen.

Es ist schon im Anfang dieser Arbeit darauf hingewiesen worden, daß aerologisches Material in nur sehr geringem Umfange zur Verfügung stand und verwertet werden konnte. Diese wenigen Beispiele, in denen aerologische Aufstiege mit herangezogen werden konnten, zeigen, wie vorsichtig unter allen Umständen die Definition der Luftmassen nach der bekannten Klassifikation vorgenommen werden muß, solange nicht die Möglichkeit besteht, durch Vertikalschnitte ein übersichtliches Bild zu erhalten. Die Verfälschung der meist nur zur Verfügung stehenden Bodenwerte ist gut erkenntlich. So ist ein Einbruch am 20./IV. 32 am Boden kaum zu erkennen, aber im Aufstieg von Vigna di Valle sind die Massen als arktische Massen gut ausgeprägt und in ihren Θ'-Werten (Äquivalent - Potentielle Temperaturen) noch unter den von Schinze (Lit. 77) gegebenen monatlichen Mittelwerten für mitteleuropäische Verhältnisse befunden worden.

Die Thetagramme der 10 als geeignet behandelten Aufstiege von Vigna di Valle und Montecelio (beide bei Rom) sind in den Abb. 24 und 25 zusammengestellt. Hierin faßt die Abb. 24 die Aufstiege bei arktischen Massen, die Abb. 25 die Aufstiege bei subpolaren Massen zusammen.

Die Zahl der Thetagramme ist zu klein, um vergleichende Untersuchungen zu den Schinzeschen Mittelwerten anzustellen. Im allgemeinen wurden für die Massen arktischer Herkunft etwas höhere Θ'-Werte gefunden, als sie Schinze für Mitteleuropa gab. In einer Reihe von Beobachtungen lagen aber die Temperaturen unter den genannten Mittelwerten. Ob es reell ist, wenn dies im Winter in den unteren Schichten, im Frühjahr eher in höheren Schichten gefunden wurde, sei dahingestellt.

Eigenartigerweise gab die Höhe um 1500 m oft den Θ'-Wert, der dem Schinzeschen Wert am nächsten kam. Θ'-Werte subpolarer Massen sollen nach Schinze etwa 10^0 über denen der arktischen Massen liegen. Auch hier wurden die Θ'-Werte, auf die Schinzeschen Angaben für mitteleuropäische Verhältnisse bezogen, um etwa 2^0 höher befunden.

Anhang.

Die zwölf für Italien maßgeblichen Typen der Druckverteilung [1]).

(Nach den Arbeiten von Fabris (Lit. 30) und der Beschreibung von Eredia (Lit. 28)).

Typ I Atlantischer Typ.
II Antiatlantischer Typ.
III Kreuztyp.
IV Europäische Antizyklone auf Italien ausgedehnt.
V Hochdruck über Nordeuropa, Tiefdruck im SE von Italien.
VI Hochdruck über Nordeuropa, Tiefdruck üb. Mittelmeer.
VII Antizyklone über dem Mittelmeer.
VIII Afrikanischer Typ.
IX Europäische Zyklone auf Italien ausgedehnt.
X Sekundäres Tief über Italien in Abhängigkeit von einer Zyklone über Europa.
XI Tiefdruck über Italien oder den umliegenden Meeresteilen ohne Hochdruck über Europa.
XII Druckverteilung ohne ausgesprochene Gradienten.

Typ I wird durch hohen Druck am Westrande Europas gebildet, der über Spanien, der Biscaya oder England oder zugleich auf dieser ganzen Front, auch mitunter bei einer Ausdehnung auf Marokko und Algier, besteht. Nördlich der Alpen bildet sich ein recht starker Gradient, die Isobaren schmiegen sich dem Alpenmassiv an, biegen am Rande der Westalpen nach Süden durch den Golfe du Lion und verlaufen bei voll ausgeprägtem Typ von NW nach SE durch die Apennin-Halbinsel, wobei sie bisweilen im Potal eine Tiefdruckrinne bilden können.

Typ II stellt das Gegenstück zum Typ I dar mit einer Antizyklone im Osten von Italien, über dem Balkan oder Südrußland. Ein Ausläufer der Antizyklone wird häufig im Valpadana beobachtet, und ein Ausläufer einer Zyklone reicht bisweilen von der atlantischen Küste in das Tyrrhenische Meer.

[1]) s. Abb. 9.

Typ III besteht aus zwei Zyklonen und zwei Antizyklonen, deren Zentren etwa auf den Armen eines Kreuzes liegen. (Atlant. Ozean und Rußland bzw. Nordeuropa und südliches Mittelmeer.) Durch die wechselnde Lage der Zentren sind auch die Wetterbedingungen über Italien verschieden.

Typ IV. Eine europäische Antizyklone dehnt sich über größeres Gebiet Italiens aus. Ihr Zentrum liegt meist über Mitteleuropa. Es besteht so ein ausgesprochener Nord-Süd-Gradient.

Typ V. Der Typ geht oft aus dem vorher beschriebenen hervor. Auch er besteht aus einer Antizyklone über Mitteleuropa, zu der noch eine Zyklone im SE von Italien hinzukommt.

Typ VI. Eine Antizyklone besteht über Nordeuropa. Das Wetter über Italien wird durch eine Zyklone über dem Mittelmeer bestimmt.

Typ VII. Ein Hochdruckgebiet nimmt das ganze Mittelmeerbekken ein und beherrscht Italien und seine Meere. Die Isobaren nehmen aber selten eine Kreisform an. Gebiete niedrigen Druckes werden auf die atlantischen Küsten und Nordeuropa beschränkt.

Typ VIII. Dieser Typ stellt etwa das Gegenstück zum Typ V dar und wird durch hohen Druck über Nordafrika gebildet. Die Isobaren verlaufen im Tyrrhenischen Meer annähernd parallel den Breitenkreisen. Der Druckgradient verläuft etwa von Süden nach Norden gegen eine nordeuropäische Zyklone.

Typ IX. Eine Zyklone über dem westlichen Europa dehnt sich auf Italien aus. Die Lage ihres Zentrums kann wechseln, immer ist sie jedoch so ausgedehnt, daß die sie umschließenden Isobaren noch die afrikanische Küste berühren, wobei sie von einer Kreisform häufig abweichen wegen einer Ausbuchtung, die sie über dem Golfe du Lion im Mittelmeer erfahren.

Typ X. Eine Resonanz-Zyklone liegt über Italien in Abhängigkeit von einer noch tieferen über Europa nördlich der Alpen. Diese Druckverteilung geht fast immer aus der im Typ IX beschriebenen Verteilung hervor. Die Lage des Zentrums der Teilzyklone kann schnell wechseln.

Typ XI. Ohne die Ausbildung eines Hochdruckgebietes über Europa beherrscht eine Zyklone Italien und seine Meere und dehnt sich fast über ganz Europa aus. Das Zentrum, das oft auch recht tief sein kann, nimmt verschiedene Lagen ein.

Typ XII. Der Typ ist durch eine Druckverteilung ohne besonderen Gradienten über dem Mittelmeer ausgezeichnet. Im allgemeinen ist der Druck im Mittelmeer etwas über 760 mm.

Häufigkeit der einzelnen Typen.

Nachstehende Tabelle wurde aus den Prozente der Jahressummen darstellenden Zahlen der Tabelle von Fabris-Eredia errechnet. Sie gibt für die beobachteten fünf Jahre 1926/30 die beobachtete Häufigkeit eines jeden der 12 Druckverteilungstypen im jährlichen Verlauf an. Die Zahlen entsprechen den in fünf Jahren beobachteten Tagen, wenn man die Summe der benutzten Tage gleich 1000 setzt. (Wegen der nur in Prozenten gegebenen Darstellung in der italienischen Arbeit war das Rechenverfahren etwas umständlich).

TYP.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
I.	4.96	4.96	11.20	6.20	12.40	17.40	27.20	17.40	8.69	4.95	3.72	4.96
II.	8.10	13.50	12.60	6.30	5.40	5.40	1.80	1.80	3.60	8.10	17.10	6.30
III.	12.73	3 35	4.02	8.04	2.01	4.02	4.69	6.03	4.02	2.01	6.70	9.38
IV.	13.28	18.26	25.00	3.32	1.66	8.30	18.26	23.24	25.00	14.94	6.64	8.30
V.	7.28	13.65	6.37	6.37	7.28	8.19	7.28	7.28	10.92	4.55	3.64	8.13
VI.	7.36	11.96	6.44	8.28	6.44	2.76	1.84	3.68	7.36	7.36	11.04	17.48
VII.	3.90	1.17	3.12	3.90	6 63	8.19	—	—	3.12	5.07	1.95	1 91
VIII.	2.45	2.10	2.45	2.10	1.40	2.45	2.10	2.45	1.40	7.00	5.95	3.15
IX.	1.70	1.70	1.70	12.75	11.05	10.20	5.10	2.55	5.10	15.30	12.75	5.10
X.	16.51	6.35	15.24	16.51	7.62	10.16	5.08	3.81	8.89	12.70	12.70	11.43
XI.	3.40	—	0.68	5.10	7.14	1.36	—	—	2.72	7.14	2.04	4.42
XII.	—	1.50	2.00	4.00	8.00	9.00	5.50	12.50	5.50	2.00	—	—

Zusammenfassung.

Im **I. Hauptteil** wird die geographische Begrenzung des Beobachtungsraumes vorgenommen und eine Beschreibung seiner Zugänglichkeit für die Kaltlufteinbrüche durch die Einbruchstore zwischen seinen Randgebirgen, sowie die Mitteilung des benutzten Materials und der Durchführung seiner Bearbeitung gegeben.

Im **II. Hauptteil** wird zunächst untersucht, mit welcher Häufigkeit die Kaltluftmassen verschiedener Herkunft im Jahresgang als Abkühlungbringer an den beiden wichtigsten Einbruchstoren zwischen Alpen und Pyrenäen und östlich der Alpen bei Triest auftreten. Diese Häufigkeit wird graphisch dargestellt.

Es ergaben sich hier zwischen beiden Einbruchstoren wesentliche Verschiedenheiten. An dem westlichen der beiden Zugangstore fanden erheblich mehr die maritimen, an dem östlichen wesentlich häufiger die kontinentalen Massen Eingang. Die Häufigkeit letzterer war im Winter besonders groß, während sie im Sommer verschwand. Das Einfließen maritimer Luftmassen war im Gegensatz hierzu gleichmäßiger über das Jahr verteilt.

Die Ursachen des jährlichen Ganges der Häufigkeit der Kaltlufteinbrüche verschiedener Herkunft wurden im Einzelnen erklärt.

Ebenso wurden über den jährlichen Gang der Andauer des Kaltlufteinfließens und über seine Ursache Untersuchungen angestellt.

Der Zusammenhang zwischen dem Einströmen von Kaltluft in den westlichen Mittelmeerraum und den für Italien maßgebenden, zuletzt von Fabris und Eredia festgelegten Isobarentypen wurde ebenfalls untersucht. Es wurde hier festgestellt, daß die Häufigkeit der den maritimen Luftmassentransport fördernden Isobarentypen mit der tatsächlich beobachteten Häufigkeit des Einströmens von Kaltluft maritimer Herkunft im jährlichen Gange quantitativ befriedigend übereinstimmte. Das Gleiche konnte für die Häufigkeit der die kontinentalen Kaltlufttransporte bewirkenden antizyklonalen Isobarentypen im Vergleich zu dem Einströmen von kontinentaler Kaltluft in das betrachtete Gebiet nachgewiesen werden. Hierbei mußte naturgemäß von dem Auftreten dieser Typen im Sommer abgesehen werden, in dem sie nicht als Kaltluftbringer wirken können.

Im **III. Hauptteil** wurden sieben Hauptstrombahnen eingeführt, die im westlichen Mittelmeer vorwiegend von den Kaltluftmassen benutzt werden. Der Zusammenhang der auf diesen Hauptstrombahnen vordringenden Kaltluftmassen mit den sie auslösenden und begleitenden Zyklonen wurde erörtert und hierbei auch auf die Zugstraßen der Zyklonen im westlichen Mittelmeer eingegangen.

Es konnten hierbei Hauptstrombahnen, die mit Zyklonen zusammenhängen, und solche, bei denen das Einströmen unter Wirkung der Antizyklone in Mitteleuropa stattfindet, unterschieden werden.

Von diesen Hauptstrombahnen verläuft die mit „A" bezeichnete von Gibraltar parallel der afrikanischen Küste bis nach Südsardinien. Die Hauptstrombahn „B" geht von der Rhônemündung bis nach Messina, „C" vom Golfe du Lion entlang der spanischen Ostküste. „D" läuft das Valpadana von Osten nach Westen entlang und „E" von Triest über die Adria nach Südosten. „F" beginnt am gleichen Einbruchstor, läuft über den Apennin nach Sizilien, und schließlich „G" von der dalmatinischen Küste über den Apennin, etwa in der Breite von Umbrien und Latium, nach Nordsardinien und bis in den Balearenraum.

Die Einführung der Hauptstrombahnen ermöglichte es, für das Jahr 1932 einen Kaltluftmassen-Kalender aufzustellen, in dem die Hauptstrombahnen und die Herkunft der auf ihnen fortschreitenden Kaltluftmassen verzeichnet wurden.

Der Zusammenhang der Kaltlufteinbrüche westlich und östlich der Alpen mit den bereits vielfach behandelten Mistral- und Bora-Erscheinungen wurde ebenfalls in einem Kapitel dieses Teiles besprochen und darauf hingewiesen, daß Mistral nur dann zu wirklich das Mittelmeer durchfließenden Kaltlufteinbrüchen wird, wenn das Druckbild ein Einfließen vom Golfe du Lion nach Südosten hin befördert (Genuazyklone).

Bei den Untersuchungen der Bora wurden ähnliche Verhältnisse gefunden. Hier ist besonders die Regenerierung von Adria-Zyklonen durch den die Bora bildenden Kaltlufteinbruch von Wichtigkeit, die aus den Adria-Zyklonen die gefährlichen Sturmstörungen der Oberen Adria entstehen läßt.

Im **IV. Hauptteil** wurden einzelne Beispiele für die Kaltlufteinbrüche behandelt. Hierbei wurde getrennt nach Kaltlufteinbrüchen vorwiegend aus dem Raum westlich der Alpen und solchen vorwiegend aus dem Raum östlich der Alpen. Es wurden Beispiele für Kaltlufteinbrüche auf allen sieben Hauptstrombahnen gegeben.

Es wurden behandelt: Der Einbruch vom 9.—10. November 32 auf der Hauptstrombahn A, vom 18.—22. März 32 auf den Hauptstrombahnen A, B und F, vom 11.—14. April 32 auf den Bahnen B und C, am 9. Januar 32 auf den Bahnen B und E, vom 31. Oktober — 1. November 32 in breiter Front auf den Hauptstrombahnen B und E und über ganz Italien. Schließlich wurden der Einbruch vom 10.—12. März 32 auf den Bahnen D und E und die Folge von Einbrüchen auf den Bahnen B, C, D, F und G in der Zeit vom 25. Februar bis 3. März 1932 behandelt.

Im **V. Hauptteil** wurden einige Folgerungen aus den behandelten Beispielen gezogen.

Es wurde die mittlere Geschwindigkeit des Fortschreitens von Kaltlufteinbrüchen innerhalb 24 Stunden zu 930 km (d. i. 38,7 km/Std.) bestimmt, deren jährlicher Gang erörtert und als Folge der Temperaturverhältnisse bei den Kaltlufteinbrüchen erklärt. Auf die Geschwindigkeitsänderungen längs der Strombahnen wurde eingegangen. Besonders behandelt wurde die auch am meisten benutzte Hauptstrombahn B.

Die Form der Front der einbrechenden Kaltluftmassen wurde ebenfalls von allgemeinen Gesichtspunkten aus, vor allem in ihrem Zusammenhang mit den orographischen Verhältnissen behandelt.

Weiter konnte die Erwärmung der eingebrochenen Kaltluftmassen im Mittel zu 3,5° bis 4,0° in 24 Stunden längs der Hauptstrombahn B festgestellt werden, wobei Unterschiede zwischen Sommer und Winter bestanden.

Auf den Zusammenhang zwischen Tiefdruckgebieten und Kaltlufteinbrüchen konnte hier am Schluß der Arbeit noch von allgemeinen Gesichtspunkten aus eingegangen werden. Es wurde dabei auf die Bedingungen und die Folgen des zeitweisen Stationärwerdens der Begleitzyklonen im Ionischen Meer, meist infolge Zuströmens von Sciroccoluft, näher eingegangen und darauf hingewiesen, daß derartig aufgehaltene Kaltlufteinbrüche häufig später mit der Zyklone in das östliche Mittelmeer gelangen.

Der allgemeine Zusammenhang zwischen Kaltlufteinbrüchen und der Niederschlagsverteilung konnte von klimatologischen Gesichtspunkten aus behandelt werden. Auf die Tatsache der sommerlichen Regenarmut des Mittelmeergebietes trotz verhältnismäßig nur wenig verminderter Häufigkeit des Einfließens von Abkühlung bringender Luft wurde eingegangen und sie mit der auflösenden Wirkung erklärt, die selbst kleine Landgebiete im Sommer auf Kaltluftmassen haben.

Die mit den Kaltlufteinbrüchen zusammenhängenden Gewittererscheinungen im Valpadana wurden besprochen.

In einem kurzen Absatz wurde auch auf die wenigen aerologischen Aufstiege eingegangen, die bei der Feststellung der Luftmassen in dem behandelten Zeitraum benutzt werden konnten, und ihre Einordnung in die Schinzesche Terminologie, soweit sie möglich war, durchgeführt.

Am Schluß der Arbeit spreche ich Herrn Direktor Professor Dr. K. Knoch meinen Dank aus für die Förderung, die er der Arbeit zuteil werden ließ. Zugleich danke ich Herrn Professor F. Eredia in Rom für seine Freundlichkeiten während meines Aufenthaltes in Italien und seine Bereitwilligkeit, mit der er mir ein Arbeiten im Ufficio Presagi des italienischen Luftfahrtministeriums ermöglichte. Dankbar bin ich besonders Herrn Regierungsrat Dr. F. Albrecht für die wertvollen Ratschläge, die er mir hinsichtlich der Arbeit gab.

Literaturverzeichnis.

1. Albrecht, F.: Die kalorimetrischen Strahlungsuntersuchungen und die meteorologischen Beobachtungen in Vittangi während der totalen Sonnenfinsternis am 29. Juni 1927. Veröff. d. Pr. Met. Inst. Abh. Bd. X, Nr. 4, Berlin 1934.
2. Alippi, T.: I temporali padani in relazione colle nuove teorie sulla struttura dell' atmosfera. La Meteorologia Pratica, 1929, 4, pag. 148, 5, pag. 171/177.
3. Alt, E.: Klimatologie von Mittel- und Südeuropa (Köppen-Geiger, Handbuch der Klimatologie, III. Teil M), Berlin 1932.
4. Bauer, G.: Luftzirkulation und Niederschlagsverhältnisse in Vorderasien. Gerlands Beiträge z. Geoph. 45, 1935.
5. Bénévent, E.: Du passage de dépressions barométriques secondaires à travers les Alpes françaises et de leur influence sur le climat. Rev. Géogr. Alp. IX, 1921, pag. 505.
6. Bénévent, E.: Le régime des vents en Provence. Rev. Géogr. Alp. XI. 1923, pag. 241.
7. Bénévent, E.: Bora et Mistral. Ann. de Géogr. 39. 1930. pag. 286.
8. Bergeron-Swoboda: Wellen und Wirbel an einer quasistationären Grenzfläche über Europa. Veröff. d. geophys. Inst. d. Univ. Leipzig. 2. Serie, 3. Bd. 1924.
9. Bergeron, T.: Über die dreidimensionalverknüpfende Wetteranalyse. Geofys. Publ. Vol. V. Nr. 6. Oslo 1928.
10. Bergeron, T.: Richtlinien einer dynamischen Klimatologie. Met. Zs. 1930, Heft 7, pag. 246.
11. Bilancini, R.: Sulla Ondata di Freddo del 14.—15. ottobre 1928. La Meteorologia Pratica, 1929, I. pag. 3.
12. Bjerknes, J.: The structure of fronts. Met. Magazine, 61, 1926.
13. Crestani, G.: Climatologia. Torino 1931.
14. Defant, A.: Wetter und Wettervorhersage. II. Aufl. Leipzig und Wien 1926.
15. Dersch, O.: Der Mistral. Zs. d. Österr. Ges. f. Met. 1881, pag. 52.
16. Deutsche Seewarte: Wind, Strom, Luft- und Wassertemperaturen auf den wichtigsten Dampferwegen des Mittelmeeres. D. Seewarte 1905.
17. Dinies, E.: Luftkörper-Klimatologie. Archiv d. Deutschen Seewarte, 50. Bd., Hamburg 1932.
18. Ekhard, E.: Mechanik des großen Kälteeinbruchs Ende November 1930. Gerlands Beitr. z. Geophys. 1933.
19. Engelmann, F.: Die Singularität im Druckverlauf Ende November, ihr innerer Aufbau und ihr Einfluß auf den Temperaturverlauf Europas im Dezember (Weihnachtstauwetter). Veröff. d. Geophys. Inst. Leipzig. Bd. VII, Heft 1, 1935.
20. Elsner, G. v.: Die Verteilung des Luftdrucks über Europa und dem Nordatlantischen Ozean. (20 jähr. Pentadenmittel) Abh. Pr. Met. Inst. VII, 7, 1925.
21. Eredia, F.: Le precipitazioni acquee nella Riviera Ligure. Riv. Agraria. Oktober 1907.

22. Eredia, F.: Sui temporali in Italia. Elettrotecnica. Februar 1932, Milano.
23. Eredia, F.: Le precipitazioni atmosferiche in Italia. Ann. Uff. Centr. Met. XXVII. Roma 1908.
24. Eredia, F.: Carte quinquennali delle precipitazioni atmosferiche in Italia. Pubbl. 13. del Servizio Idrografico. Min. dei Lavori Pubblici, Roma 1928.
25. Eredia, F.: Pioggie intense e acquazzoni. Ann. dei Lav. Pubbl. Roma 1931.
26. Eredia, F.: Di una singolarità aerologica della costa tirrhenica della Calabria. La Meteorologia Pratica, 1936, Nr. 2.
27. Eredia, F.: Le correnti aeree al suolo e a quote a Bengasi. La Meteorologia Pratica, 1936, Nr. 1.
28. Eredia, F.: Aerologia e Meteorologia. R. Acc. Aeronautica, Caserta 1936.
29. Exner, F. M. v.: Über die Ausbreitung kalter Luft auf der Erdoberfläche. Sitz. Ber. d. Wiener Akad. 127. Bd. Wien 1918.
30. Fabris, C.: I tipi isobarici principali e la loro azione sull' Italia. Padova 1917.
31. Ficker, H. v.: Transport kalter Luftmassen über die Zentralalpen. Denkschrift d. Wiener Akad. d. Wiss. 1906.
32. Ficker, H. v.: Die Ausbreitung kalter Luft in Rußland. Sitz. Ber. d. Wiener Akad. d. Wiss. Abt. IIa Bd. 119, Wien 1910.
33. Ficker, H. v.: Der Einfluß der Alpen auf Fallgebiete des Luftdruckes und die Entstehung von Depressionen über dem Mittelmeer. Met. Zs. 1920, pag. 350 ff.
34. Ficker, H. v.: Vorstoß kalter Luftmassen nach Teneriffa. Abh. d. Pr. Met. Inst. Bd. VIII. Nr. 5. 1926.
35. Fischer, Th.: Studien über das Klima der Mittelmeerländer. Petermanns Mittlg. Erg. Bd. 58. 1879.
36. Galzi, M.: Le Mistral à Nîmes. La Météorologie, 1927, III. pag. 213.
37. Garriott, E. B.: Cold waves and frost in the United States. Weather Bureau, Washington, 1906.
38. Gazaud, L.: Contribution à l'étude du Mistral. Comptes Rendus, Ac. Sc. 1914, pag. 335 ff.
39. Gold, E.: Barom. Gradient and Windforce. Rep. of the Direct. of Met. Office, Nr. 190, 1908.
40. Gölles, F.: Kältewellen im Gebiet des Kaspischen Meeres. Wiener Sitz. Ber. IIa. 131. Bd. pag. 327 und Met. Zs. 1929, pag. 97.
41. Gorczinski, W.: Nouvelles Isothermes de la Pologne, de l'Europe et du globe terrestre. Warschau 1918.
42. Hann, J.: Wärmeänderung mit der Länge im Parallel von 52°. Zs. d. Österr. Ges. f. Meteorologie, Bd. V. pag. 366, Wien 1870.
43. Hann, J.: Die Verteilung des Luftdrucks über Mittel- und Südeuropa. Geogr. Abh. Bd. II. Heft 2, Wien 1887.
44. Hann-Süring: Lehrbuch der Meteorologie, IV. Aufl. Leipzig 1926.
45. Hann-Knoch: Handbuch der Klimatologie. IV. Aufl. Stuttgart 1932.
46. Hofele, H.: Die Niederschlagsverhältnisse der Insel Sardinien. Tübinger geogr. u. geolog. Abh. Reihe II 1937.
47. Jedina, R. v. Die Teildepressionen des Mittelmeeres und die Borastürme Triests. Met. Zs. 1892.
48. Kassner, C.: Der Mistral. Das Wetter, 1900, pag. 25.
49. Keßlitz, W. v.: Über die Windverhältnisse in der Adria. Met. Zs. 1914. pag. 248.
50. Knoch, K.: Die Niederschlagsverhältnisse der Atlasländer. Frankfurt, 1906.
51. Knoch, K.: Der Mistral Südfrankreichs. Pet. Mittlg. 56. pag. 297. 1910.
52. Knoch, K.: Ungewöhnlich strenge Kälteperiode in Mesopotamien im Dezember 1905. Met. Zs. 1920. pag. 229.
53. Knorz, E.: Studien über die Regenverhältnisse Italiens. Diss. Wetzlar 1918.

54. Köppen, W.: Luftbahnen am Erdboden und in der freien Atmosphäre. Met. Zs. 1911, pag. 159.
55. Köppen, W.: Die Klimate der Erde. Berlin-Leipzig 1923.
56. Krugler, H.: Die Windverhältnisse im östlichen Mittelmeergebiet und seinen Randgebieten. Diss. Berlin 1912.
57. Kupfer, E.: Die Frühlingsregen im Gebiet des Mittelmeerklimas. Mitt. d. Thür. Landeswetterwarte, Heft 5, Jena 1932.
58. Li, Sjan zi: Die Kälteeinbrüche in Ostasien. Diss. Berlin 1934.
59. Link, O.: Die Kältewellen in Nordamerika und ihr Einbruch in das amerikanische Mittelmeergebiet. Diss. Würzburg 1934.
60. Lemoing, C.: Un passage de petits tourbillons par Mistral violent. La Météorologie, 1935, pag. 447.
61. Marini, L.: Carte di pressioni e di venti per il bacino del Mediterraneo. Ann. di Idrograf. 1913/14. Bd. IX.
62. Marten, W.: Über die Kälterückfälle des Juni. Abh. d. Pr. Met. Inst. 1902, Bd. 3.
63. Mazelle, E.: Über den Einfluß der Bora auf die tägliche Periode einiger meteorologischer Elemente. Denkschr. d. math. nat. Klasse d. Kais. Akad. d. Wiss. Bd. LXXIII, Wien. s. a. Met. Zs. 21. 1904, pag. 231.
64. Mengel, O.: Extinction du Mistral en Méditerranée. La Météorologie 1934, pag. 482.
65. Monthly Met. Charts of the Mediterranean Basin. London 1919.
66. Oddone: Bora e Mistral. La Meteorologia Pratica, 1935, I.
67. Palmén, E.: Die vertikale Mächtigkeit der Kälteeinbrüche über Mitteleuropa. Gerlands Beiträge 1930, Bd. XXVI, pag. 63.
68. Peppler, W.: Nördliche Winde und Stauwirkungen über dem Alpenvorland. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. Bd. XIV. 1928.
69. Peppler, W.: Studie über die aerologischen Verhältnisse im NE-Quadranten der Mittelmeerdepressionen. Gerlands Beiträge XXXIII, 1931.
70. Petitjean, L.: L'air actif et l'air passif dans les discontinuités atmosphériques. Alger 1926.
71. Philippson, A.: Das Mittelmeergebiet. II. Aufl., Leipzig 1909.
72. Robitzsch, M.: Eine charakteristische Störung im jährlichen Temperaturgang in arktischen Gebieten. Das Wetter, 1924, pag. 73.
73. Roediger, G.: Der europäische Monsun. Veröff. d. geogr. Inst. d. Univ. Leipzig 1929.
74. Rouch, M.: Notice météorologique sur les côtes de France et de l'Algérie. Paris, 1919.
75. Rougetet, E.: Le Mistral. La Météorologie. 16. 1925. pag. 23.
76. Rougetet, E.: Le Mistral dans les plaines du Rhône moyen. La Météorologie, 1927, pag. 341.
77. Schinze, G.: Die praktische Wetteranalyse. Archiv d. Deutschen Seewarte. 52. Bd. Hamburg 1932.
78. Schröder, B.: Untersuchung über die Bildung einiger Mittelmeerdepressionen. Veröff. d. Marine-Observatoriums Wilhelmshaven. Berlin 1936.
79. Segelhandbuch für das Mittelmeer. Berlin 1905.
80. Seidl, F.: Bemerkungen über die Karst-Bora. Met. Zs. 1891. pag. 232.
81. Shaw-Lempfert: The life-history of surface air-currents. Met. Office. 174, London 1906. s. a. Referat Exner, F. M. v. Met. Zs. 1907, pag. 520.
82. Thévénet, M.: Essai de climatologie algérienne. Alger.
83. Thévénet, M.: Recherches sur la prévision du temps en Algérie. Alger 1905.
84. Wagemann, H.: Über die Erwärmung kalter Luft zwischen dem amerikanischen Festlande und den Bermudas-Inseln. Tät. Ber. d. Preuß. Met. Inst. 134. 1926.

85. Wedemeyer, K.: Der Mistral Südfrankreichs. Diss. Köln, 1933.
86. Wegener, A.: Klimatische Windkarten. Met. Zs. 1919, pag. 55.
87. Weickmann, L.: Luftdruck und Winde im östlichen Mittelmeergebiet. Habil. Schrift. München 1922.
88. Willkomm, M.: Das Klima der Balearen. Zs. d. Österr. Ges. f. Met. IX. 1874, pag. 346.
89. Zistler, P.: Die Temperaturverhältnisse der Türkei — Der Scirocco. Leipzig 1926.

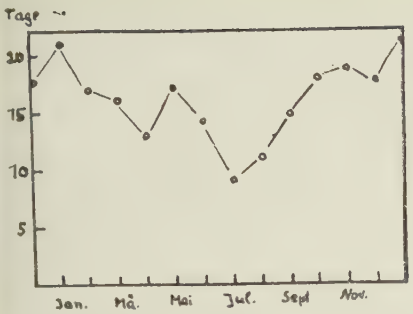


Abb. 1.

Häufigkeit des Kaltlufteinfließens in das westliche Mittelmeer.

(Zahl der Tage im Monat und Mittel über die Periode 1932—1934.)

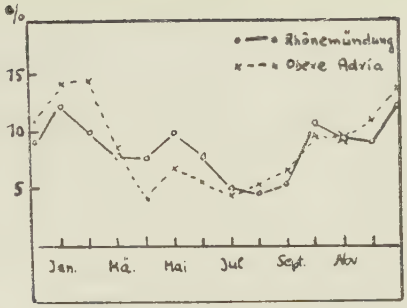


Abb. 2.

%-Verteilung des Kaltlufteinfließens auf die einzelnen Monate.

(Anzahl der Tage im Jahr an Adria und Rhônemündung je gleich 100.)

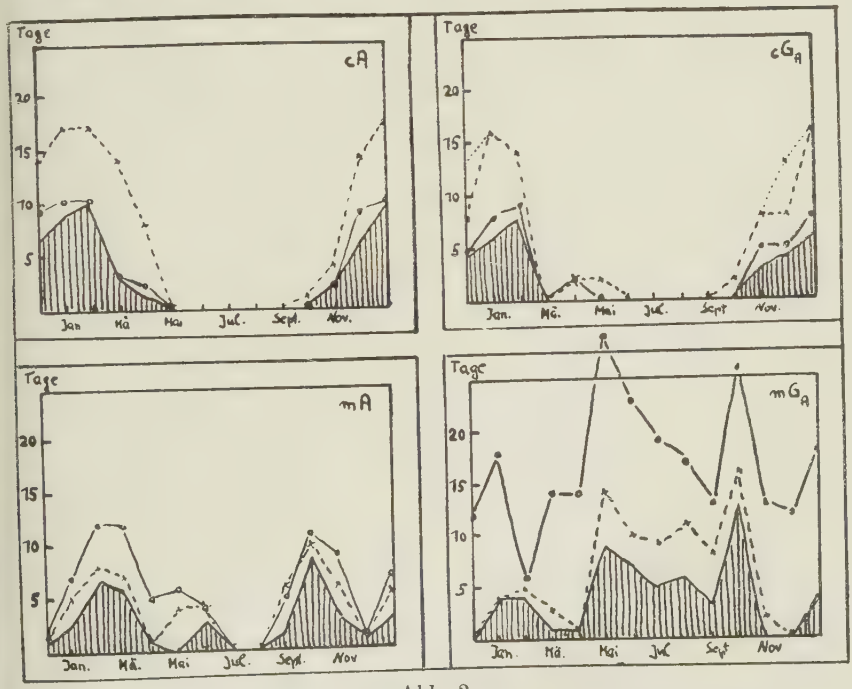


Abb. 3.

Der Anteil der verschiedenen Luftmassen an den Kälteeinbrüchen.

(Für jede Luftmasse ist die Gesamtzahl der Tage in den drei Jahren 1932/34 gegeben worden.)

o—o—o: Golfe du Lion

×—×—×: nördliche Adria

schraffiert: Gleichzeitiges Einströmen an Adria und Rhône.

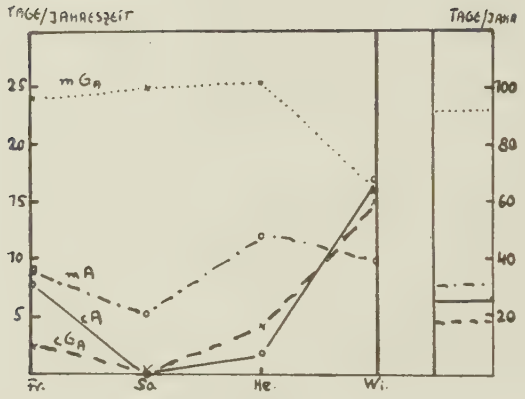


Abb. 4.

Häufigkeit des Einfließens von Kaltluft verschiedener Herkunft in das westliche Mittelmeer.

(Anzahl der Tage je Jahreszeit im Mittel über die Periode 1932/34.)

c_A = o—o—o
cG_A = ×—×—×
m_A = o—·—·—o
mG_A = ×·····×·····×

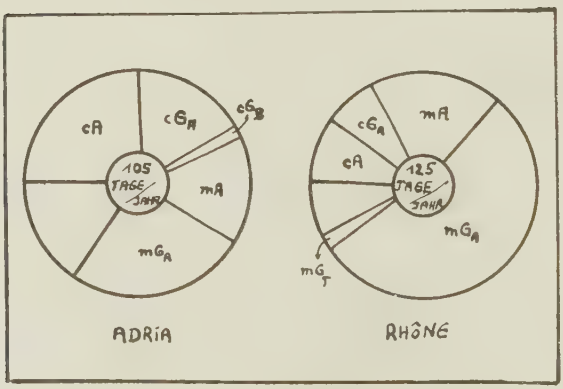


Abb. 5.

Verteilung der an der Oberen Adria bezw. an der Rhônemündung einfließenden Kaltluft auf die einzelnen Ursprungsgebiete.

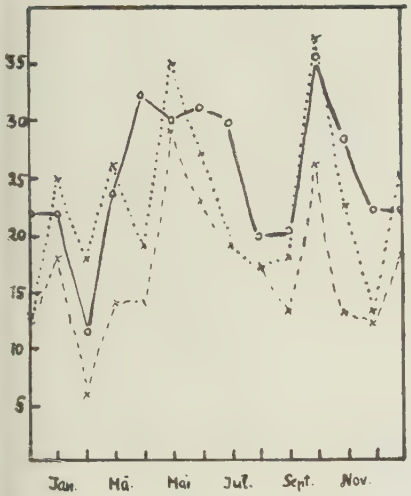


Abb. 6.
Häufigkeit der maritimen Druckverteilungstypen (○——○)
(nach Fabris-Eredia)
im Vergleich mit der Häufigkeit des Einströmens maritimer Kaltluft (×——×) an der Rhône.

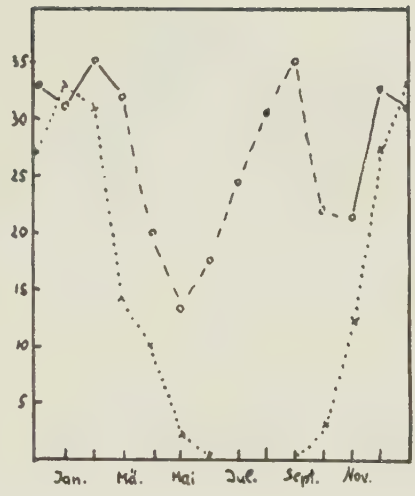


Abb. 7.
Häufigkeit der kontinentalen Druckverteilungstypen (○——○)
(nach Fabris-Eredia)
im Vergleich mit der Häufigkeit des Einströmens kontinentaler Kaltluft (×····· ×) in die Adria.

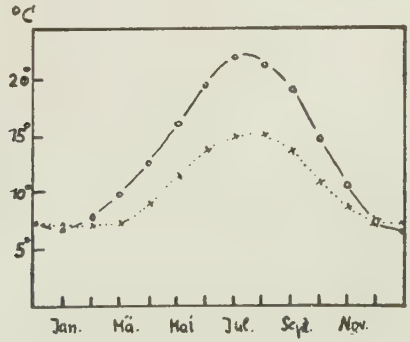
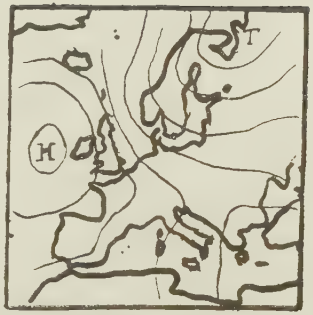
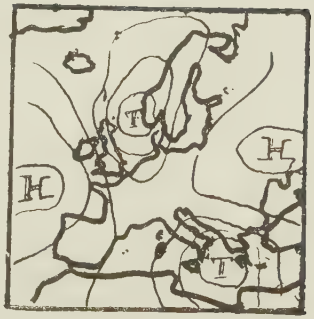


Abb. 8.
Temperaturkurve von Marseille ○——○ und Valencia ×····· ×.



Typ I.
Atlantischer Typ.
(Schiaparelli.)

Typ II.
Antiatlantischer Typ.
(De Marchi.)



Typ III.
Kreuztyp (2 H, 2 T.)

Typ IV.
Europäische Antizyklone auf
Italien ausgedehnt.

Typ V.
Antizyklone über Mitteleuropa
und Depression im SE von Italien.

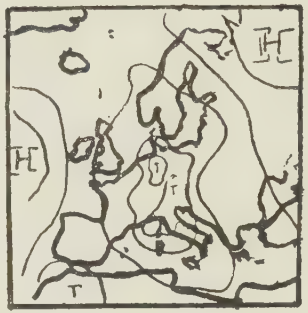
Typ VI.
Antizyklone über Nordeuropa
und Zyklone über dem Mittelmeer.

Typ VII.
Antizyklone über dem Mittelmeer.

Typ VIII.
Afrikanischer Typ.

Typ IX.
Europäische Zyklone auch auf Italien erstreckt.

Typ X.
Sekundäre Zyklone über Italien in Abhängigkeit von einer tieferen nördl. der Alpen.



Typ XI.
Einzige Zyklone über Italien oder den ital. Meeresbecken ohne Anti-Zyklone über Europa.

Typ XII.
Ausgeglichene Druckverteilung.

Abb. 9.
Schematische Darstellung der zwölf typischen Druckverteilungen.
(Nach Definitionen von Schiaparelli, De Marchi und Ferrari und Klassifikation von Fabris.)

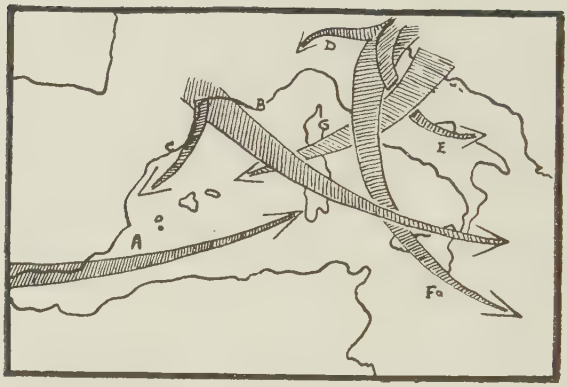


Abb. 10.
Die Hauptstrombahnen der Kaltluft im westlichen Mittelmeerraum.

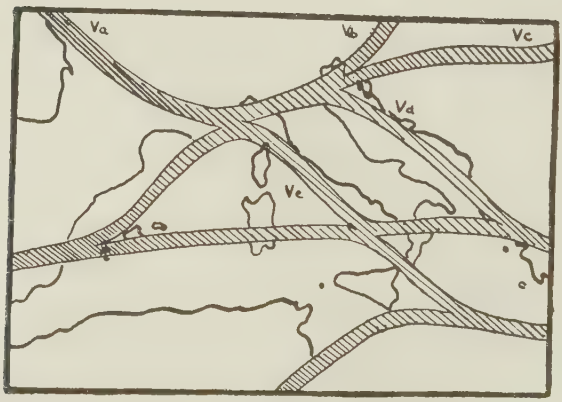


Abb. 11.
Die Zugstraßen der Depressionen im westlichen Mittelmeerraum
(gezeichnet nach der Karte in Eredias Lehrbuch der Meteorologie (Lit. 28) und Weickmanns Untersuchungen (Lit. 87).

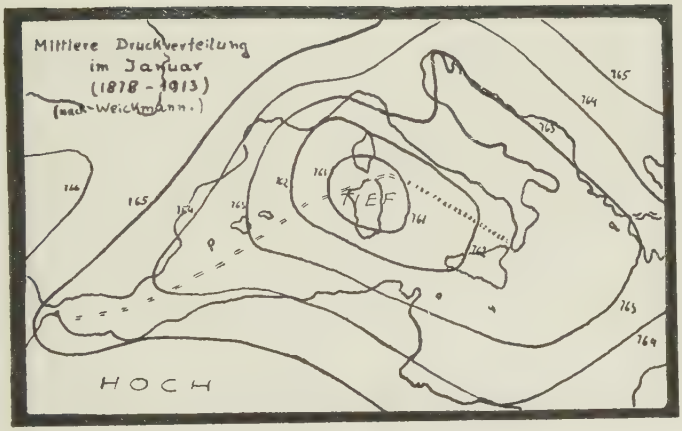


Abb. 12.

Mittlere Luftdruckverteilung über dem Mittelmeergebiet im Januar Periode 1878—1913 nach Weickmann.

(gestrichelt: Lage einer Diskontinuität nach Petitjean.)

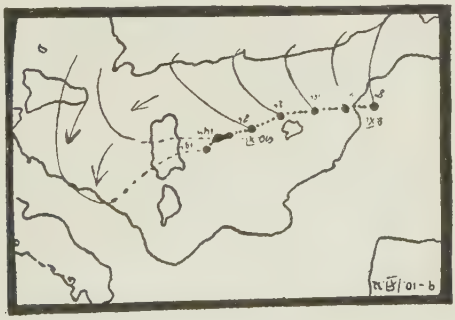


Abb. 13.

Wanderung des Depressionszentrums am 9. und 10. XI. 32 und Fortschreiten der Abkühlungsisochronen.

Abb. 14.

Wanderung des Depressionszentrums vom 16.—23. III. 32 und Fortschreiten der Abkühlungsisochronen. Lage der Kaltluftisochronen nach den Morgenterminen.

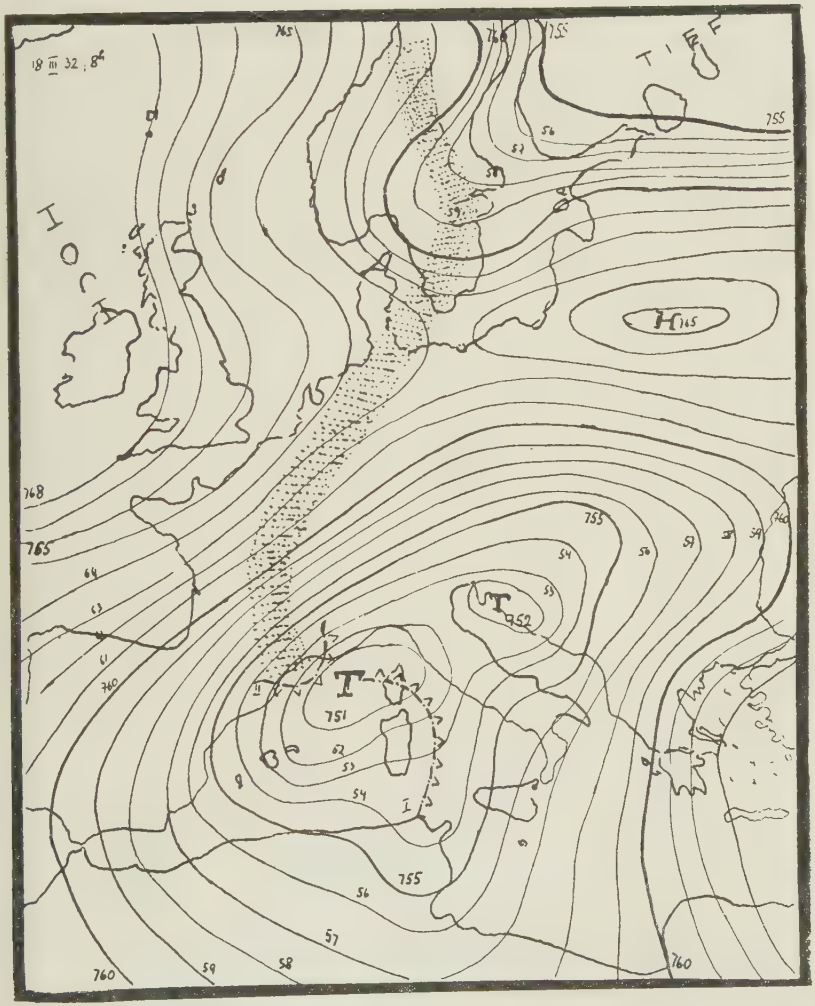


Abb. 15.

Druckbild am 18. März 1932 8 Uhr.
Herkunftsweg der maritim-arktischen Luftmassen.

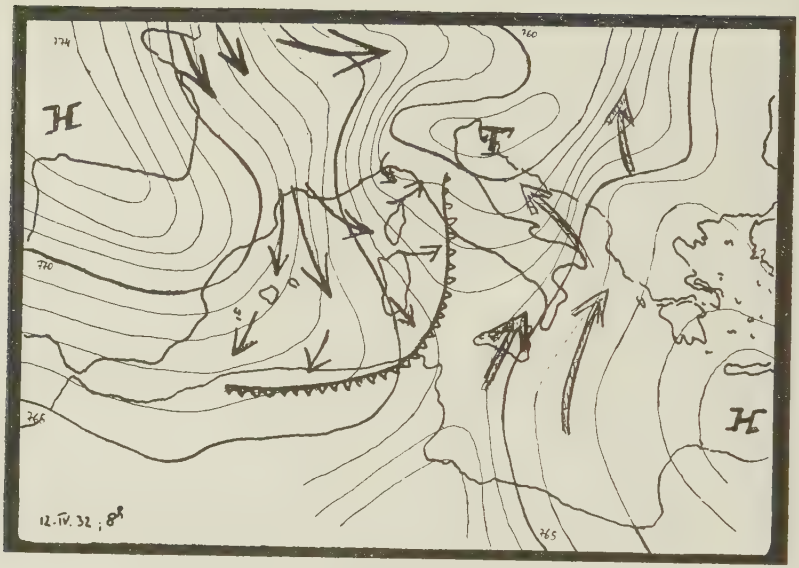


Abb. 16.
Isobaren, Strömungsbild und Abkühlungsisochrone am 12. IV. 32 8 Uhr.

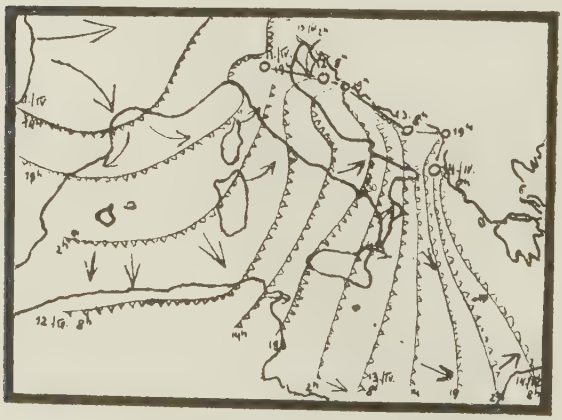


Abb. 17.
Abkühlungsisochronen im westlichen Mittelmeer vom 11.—14. IV. 32.

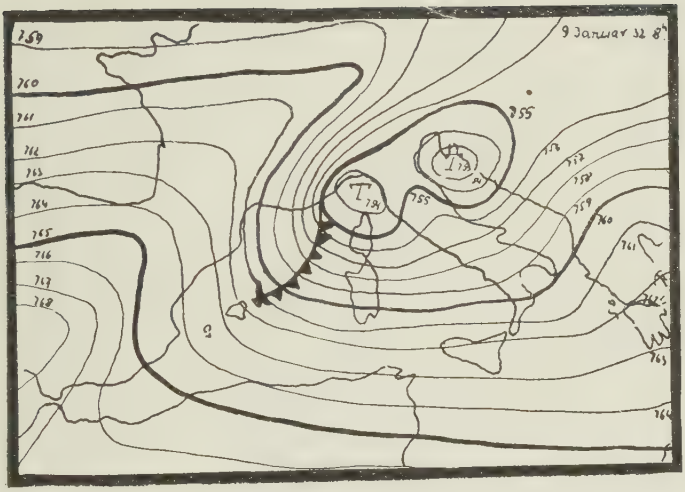


Abb. 18.
Druckbild und Lage der Kaltfront am 9. Januar 1932 8 Uhr.

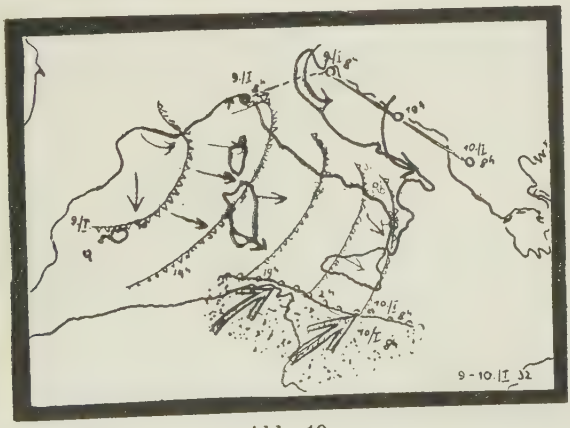


Abb. 19.
Abkühlungsisochronen, Strömungsrichtung und Wanderung des Depressionszentrums vom 9./10. Januar 1932.

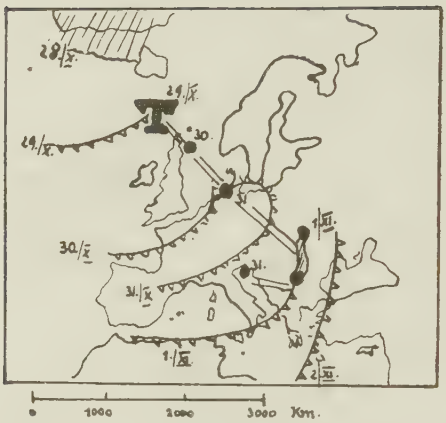


Abb. 20.

Das Vordringen maritim-arktischer Kaltluft und die Wanderung eines Depressionszentrums vom 29. Oktober bis 2. November.

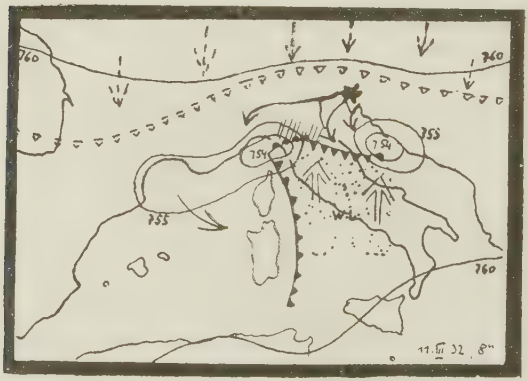


Abb. 21.

Druckverteilung, Strömungsbild und Fronten am 11. März 1932 8 Uhr morgens.
(Punktiert: Lage der Front und die Stromlinien am Vortage.)

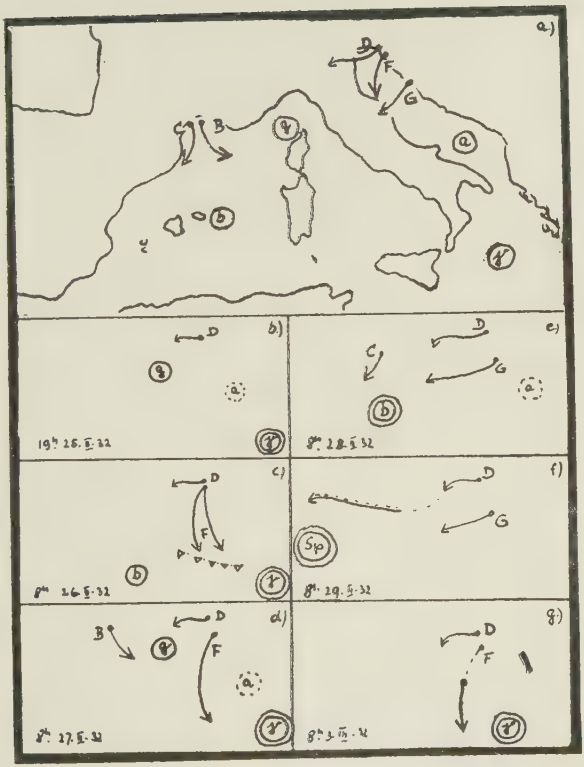


Abb. 22.

Schematische Darstellung der Zyklonenlage und der Hauptstrombahnen vom 25. II. bis 3. III. 32.

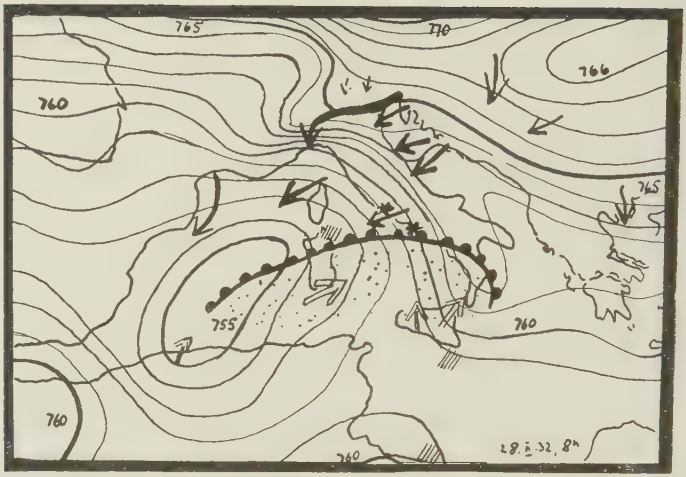


Abb. 23.
Druckverteilung und Strömungsbild am 28. II. 32, 8 Uhr.

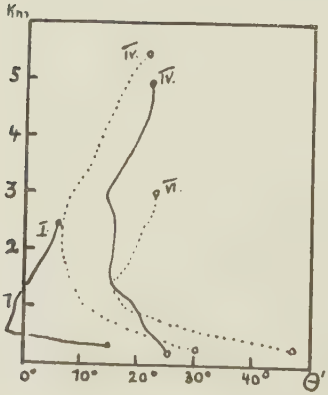


Abb. 24.

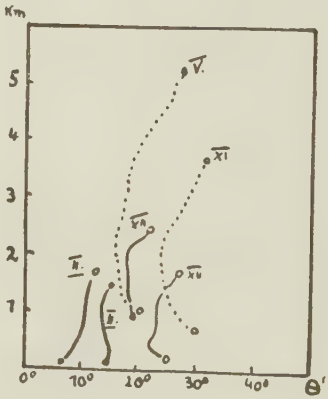


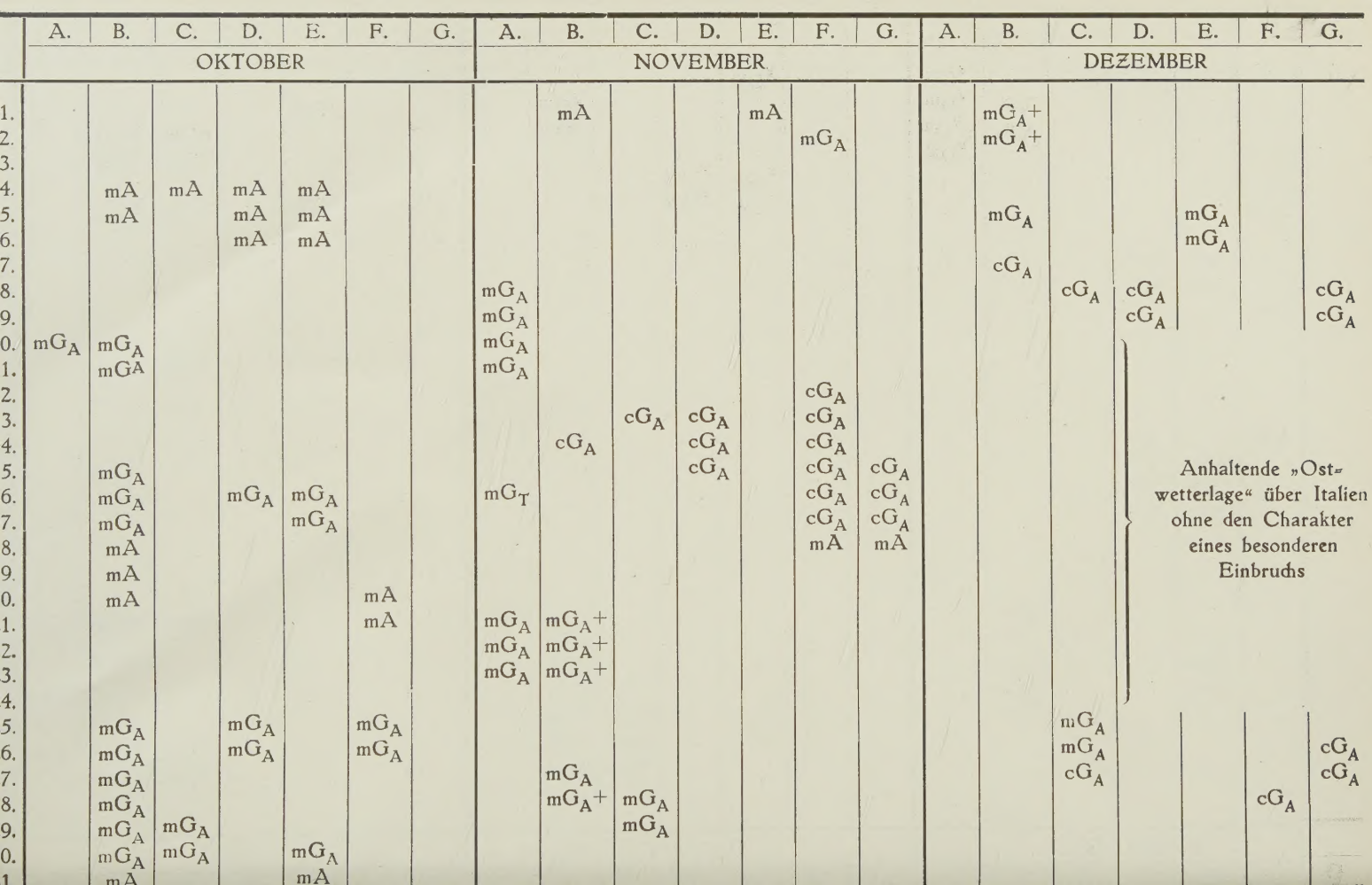
Abb. 25.

Thetagramme.
Äquipotentielle Temperaturen in einigen Aufstiegen. Bei Massen arktischer Herkunft (Fig. 24) und bei Massen subpolarer Herkunft (Fig. 25). Die römische Ziffer gibt den Monat an, in den der betreffende Aufstieg fällt.

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
	JANUAR							FEBRUAR							MARZ						
1.		mA				mA			(mG$_A$)				mG$_A$					cA			cA
2.		mA				mA			mG$_A$				mG$_A$		mG$_T$			cA			cA
3.													mG$_A$		mG$_T$			cA		cA	
4.													mG$_A$		mG$_T$						
5.													mG$_A$								
6.											cG$_A$		cG$_A$			mG$_A$					
7.													cG$_A$	cG$_A$		mA					
8.																mA				mA	
9.		mG$_A$			mG$_A$				cA												
10.					mG$_A$				cA		cA	cA				cA		cA			
11.	mG$_A$	mG$_A$ +			mG$_A$				cA		cA	cA				cA		cA	cA		
12.									cA	cA	cA	cA	cA					cA	cA		
13.										cA		cA		cA							
14.						cA		mG$_A$		cA	cA	cA		cA							
15.						cA			mG$_A$		cA		cA	cA							
16.						cA	cA		mA				cA	cA	mG$_A$						
17.						cA							cA		mG$_A$						
18.						cA	cA			cG$_A$	cG$_A$		cG$_A$	cG$_A$		mA					
19.				cA		cA	cA			cG$_A$			cG$_A$	cG$_A$		mA		mA		mA	
20.						cG$_A$	cG$_A$			cG$_A$				cG$_A$		mA		mA		mA	
21.						cG$_A$	cG$_A$			cG$_A$	cG$_A$		cG$_A$	cG$_A$		mA				mA	
22.						cG$_A$	cG$_A$						cG$_A$	cG$_A$		mA				mA	
23.		cG$_A$		cG$_A$		cG$_A$	cG$_A$											cA		cA	
24.		cG$_A$	cG$_A$			cG$_A$	cG$_A$													cA	
25.			cG$_A$			cG$_A$	cG$_A$				cA										
26.		cG$_A$	cG$_A$			cG$_A$	cG$_A$				cA		cA								
27.		mG$_A$	mG$_A$			mG$_A$	mG$_A$		cA		cA		cA	cA							
28.		(mG$_A$)				mG$_A$	mG$_A$			cA	cA			cA							
29.		(mG$_A$)				mG$_A$					cA			cA							
30.		(mG$_A$)																			
31.		(mG$_A$)																			

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
	APRIL							MAI							JUNI						
1.									mG_A^+												
2.									mG_A^+							mG_T					
3.																mG_T					
4.																					
5.		mG_A^+																			
6.		mG_A^+						mG_T								mA					
7.		mG_A							mA							mA					
8.									mA							mA		mA	mA		
9.												mA								mA	
10.												mA									
11.		mG_A	mG_A																		
12.		mA	mA																		
13.		mA	mA	mA	mA																
14.						mA															
15.																					
16.																					
17.																		mA	mA		
18.																					
19.		mG_A																			
20.															mG_A						
21.								mG_T								mG_A					
22.									mG_A							mG_A	mG_A		mG_A		
23.		mG_A							mG_A			mG_A				mG_A			mG_A		
24.		mG_A							mG_A							mG_A			mG_A		
25.		mG_A						mG_A	$mA+$										mG_A		
26.									mA												
27.																					
28.									mG_A^+												
29.									mG_A							mG_T					
30.									mG_A												
31.									mG_A												

	JULI						AUGUST						SEPTEMBER					
1.																		
2.		mG_A	mG_A				mG_A	mG_A										
3.		mG_A	mG_A				mG_A	mG_A										
4.							mG_A	mG_A		mG_A				mG_A				
5.	mG_T													mG_A			mG_A	
6.																	mG_A	
7.																		
8.		mG_A	mG_A															
9.																		
10.													mG_A					
11.																		
12.																		
13.		mG_A+														mG_A	mG_A	
14.		mG_A														mA	mA	
15.																mA		mA
16.																		
17.																		
18.		mG_A	mG_A															
19.																		
20.																		
21.																mA	mA	
22.																mA	mA	
23.																		
24.		mG_A	mG_A		mG_A				mG_A	mG_A								
25.									mG_A	mG_A								
26.		mG_A	mG_A										mG_A					
27.		mG_A	mG_A				mG_A						mG_A+	mA				
28.					mG_A		mG_A						mG_A	mA				
29.										mG_A			mG_A					
30.																		
31.																		


OKTOBER
NOVEMBER
DEZEMBER
A. B. C. D. E. F. G.
Anhaltende „Ostwetterlage“ über Italien ohne den Charakter eines besonderen Einbruchs

Lebenslauf.

Am 22. März 1914 wurde ich, Gunther Lincke, als Sohn des Studienrats Dr. Otto Lincke zu Potsdam geboren. Ich besuchte das Städtische Realgymnasium zu Potsdam, an dem ich Ostern 1932 das Abiturium bestand.

Im SS. 1932 begann ich das Studium der Meteorologie an der Universität Göttingen, das ich im WS. 1933 an der Universität Berlin fortsetzte.

Im Herbst 1934 erhielt ich durch den Deutschen Akademischen Austauschdienst ein Stipendium für einen einjährigen Studienaufenthalt in Italien, den ich im Winter 1935 durch ein „Mussolini-Stipendium" um ein weiteres Jahr verlängern konnte. Während dieses Aufenthaltes betrieb ich an der meteorologisch - aerologischen Station Pavia sowie später im Ufficio Presagi in Rom weitere meteorologische Studien.

Nach meiner Rückkehr nach Deutschland setzte ich mein Fachstudium an der Universität Berlin fort und ergänzte es in staatswissenschaftlichen Vorlesungen.

Meine akademischen Lehrer waren u. a.:

In Göttingen: die Professoren Angenheister, Pohl, Cario.
In Italien : die Professoren Eredia, Lo Surdo, S. E. Volpe, De Stefani.
In Berlin : die Professoren Knoch, von Ficker, Defant, König, Kähler, Bartels, Wüst, Möglich, Trendelenburg, Wiskemann.